

CALIDAD DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) PRODUCIDO EN HIDROPONIA CON DIFERENTES GRANULOMETRÍAS DE TEZONTLE

TOMATO (*Solanum lycopersicum* L.) QUALITY PRODUCED IN HYDROPONICS WITH DIFFERENT PARTICLE SIZES OF TEZONTLE

Cesar San Martín-Hernández^{1*}, Victor M. Ordaz-Chaparro¹, Prometeo Sánchez-García¹,
María T. Beryl Colinas-Leon², Lizette Borges-Gómez³

¹Edafología, Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, México. (sanmartin.cesar@colpos.mx). ²Universidad Autónoma Chapingo. 56230. Carretera México-Texcoco, km 38.5. (lozcol@gmail.com). ³Instituto Tecnológico de Conkal. 97345. Conkal, Yucatan. Antigua carretera Mérida-Motul, km 16.3. (lizette_borges@hotmail.com).

RESUMEN

La calidad del fruto de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es afectada por variaciones genotípicas, condiciones climáticas, y el sistema de producción empleado. El objetivo de este estudio fue evaluar la calidad física y química del fruto de tomate producido en hidroponía y tezontle como sustrato en cuatro tamaños de partícula: 3-5, 5-10, 10-20 y 20-30 mm de diámetro (tratamientos T1, T2, T3 y T4); mezclado con polvo y fibra de coco (PFC) en proporción 3:1. Se usaron contenedores de plástico con 24 L de sustrato en los cuales se trasplantaron tres plántulas de tomate. Durante el ciclo de cultivo de octubre de 2009 a abril de 2010, las plantas se regaron diariamente por goteo. La conductividad eléctrica (CE) y pH de la solución nutritiva en contacto con la raíz se monitoreó mensualmente. El diseño experimental fue completamente al azar, con tres contenedores por unidad experimental y cinco repeticiones por tratamiento. Se usaron frutos maduros en los análisis de: sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), relación SST/AT, CE, pH, porcentaje de jugo, firmeza y color (luminosidad, hue y croma). Se realizó un análisis de varianza y se usó la prueba de Tukey DHS ($p \leq 0.05$) para comparar las medias de los tratamientos. Los resultados mostraron que el tamaño de partícula de tezontle mezclado con PFC (3:1) no afectó ($p > 0.05$) los SST, AT, relación SST/AT, CE, y croma del fruto, pero sí hubo diferencias ($p \leq 0.05$) en el pH y porcentaje de jugo, la luminosidad, hue y la firmeza del fruto. Por el suministro de agua, fácilmente disponible, se generó salinidad y alcalinidad en el sustrato, los cuales además de la temperatura, influyeron en los atributos de calidad fisicoquímica del fruto de tomate.

ABSTRACT

The quality of the tomato fruit (*Solanum lycopersicum* L.) is affected by genotypic variation, climatic conditions, and the production system used. The objective of this study was to evaluate the physical and chemical quality of the tomato fruit produced in hydroponics and tezontle (cooled molten rock in volcanic vent) used as substrate in four particle sizes: 3-5, 5-10, 10-20 and 20-30 mm in diameter (treatments T1, T2, T3 and T4); mixed with coconut dust and fiber (CDF) in a 3:1 proportion. Plastic containers were used with 24 L of substrate in which three tomato seedlings were transplanted. During the growing season from October 2009 to April 2010, the plants were drip-irrigated daily. Electrical conductivity (EC) and pH of the nutrient solution in contact with the root were monitored monthly. The experimental design was completely randomized, with three containers per experimental plot and five replicates per treatment. Mature fruits were used in the analysis of: total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA), TSS/TA ratio, EC, pH, juice percentage, firmness and color (lightness, hue and chroma). We conducted an analysis of variance and applied the HSD Tukey test ($p \leq 0.05$) to compare the treatment means. The results showed that the particle size of tezontle mixed with CDF (3:1) did not affect ($p > 0.05$) SST, AT, SST/AT ratio, EC, and chroma of the fruit, but there were differences ($p \leq 0.05$) in the pH and the juice percentage, brightness, hue and the fruit firmness. By water supply, easily available, salinity and alkalinity were generated in the substrate, which in addition to temperature influenced the physicochemical quality attributes of the tomato fruit.

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: mayo, 2011. Aprobado: marzo, 2012.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 46: 243-254. 2012.

Key words: *Solanum lycopersicum* L., quality attributes, substrate granulometry, salinity, hydroponics.

Palabras clave: *Solanum lycopersicum* L., atributos de calidad, granulometría del sustrato, salinidad, hidroponía.

INTRODUCCIÓN

La calidad, se evalúa por la apariencia, color, textura, valor nutricional, composición en madurez de consumo, seguridad (salud), sabor y aroma. El sabor es medido por los sólidos solubles y ácidos orgánicos (Kader, 2002; Cantwell *et al.*, 2007). La calidad postcosecha y la vida de anaquel de los frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) son controlados por el estado de madurez en la cosecha (Alam *et al.*, 2006; Padmini, 2006). El sabor del tomate es el resultado de diversos componentes aromáticos volátiles y no volátiles y de una compleja interacción entre éstos (Yilmaz, 2001). Para un sabor mejor se requiere un contenido alto de azúcares y ácidos; un contenido alto de ácidos y bajos de azúcares produce un sabor ácido, uno alto en azúcares y bajo en ácidos dan un sabor suave, y ambos bajos dan un fruto insípido (Grieron y Kader, 1986). Los frutos de tomate contienen: azúcares reductores como fructosa y glucosa y trazas de sacarosa que constituyen 53 a 65 % de los sólidos solubles, ácidos, cítrico (9 %) y málico (4 %) principalmente, la vitamina C (ácido ascórbico), aminoácidos (2-2.5 %), carotenoides, compuestos volátiles responsables del aroma, sales minerales (8 %) y sustancias pécticas de la pared celular (Davies y Hobson, 1981; Petro-Turza, 1986).

Los tomates son frutos climatéricos y su maduración es acompañada por cambios en el sabor, textura, color y aroma. Durante este proceso se degrada la clorofila y se sintetizan carotenoides, como el licopeno (antioxidante que da el color rojo) y el β -caroteno (precursor de la vitamina A), giberelinas, quinonas y esteroides (Fraser *et al.*, 1994). El fruto pierde firmeza debido a cambios físicos y químicos asociados con la degradación de la pared celular y la solubilización de las pectinas por las enzimas pectinesterasa (PE), poligalacturonasa (PG) y pectatoliasa (PL) (Marín-Rodríguez *et al.*, 2002; White, 2002).

Poco se conoce de la calidad del fruto de tomate producido en sustratos inertes y condiciones hidropónicas. Por tanto, el objetivo de este estudio, fue evaluar los atributos físicos y químicos de calidad del fruto de tomate cultivado en hidroponía con diferentes granulometrías del sustrato.

INTRODUCTION

Quality is assessed by appearance, color, texture, nutritional value, the fruit composition in consumption ripeness, safety (health), taste and aroma. Taste is measured by soluble solids and organic acids (Kader, 2002; Cantwell *et al.*, 2007). Postharvest quality and shelf life of tomato fruits are controlled by the state of ripeness at harvest (Alam *et al.*, 2006; Padmini, 2006). The flavor of tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) is the result of various aromatic volatile and nonvolatile components and a complex interaction between them (Yilmaz, 2001). For a better taste a high sugar and acid content is required; a high acid content and a low one in sugar produce a sour taste, a high sugar and low acid levels give a mild taste, and both low result in a tasteless fruit (Grieron and Kader, 1986). Tomato fruits are made up of reducing sugars, such as fructose and glucose and trace amounts of sucrose which constitute 53 to 65 % of soluble solids, citric (9 %) and malic acids (4 %) mainly, and vitamin C (ascorbic acid), amino acids (2-2.5 %), carotenoids, volatile compounds responsible for aroma, mineral salts (8 %) and cell wall pectic substances (Davies and Hobson, 1981; Petro-Turza, 1986).

Tomatoes are climacteric fruits and their ripening is accompanied by changes in taste, texture, color and aroma. During this process chlorophyll is degraded and carotenoids are synthesized, like lycopene (an antioxidant that gives the red color) and β -carotene (precursor of vitamin A), gibberellins, quinones and sterols (Fraser *et al.*, 1994). The fruit loses its firmness due to physical and chemical changes associated with the degradation of the cellular wall and solubilization of pectins by the enzymes pectinesterase (PE), polygalacturonase (PG) and pectate lyase (PL) (Marín-Rodríguez *et al.*, 2002; White, 2002).

Little is known of the tomato fruit quality produced on inert substrates and hydroponics. Therefore, the aim of this study was to evaluate the quality physical and chemical attributes of the tomato fruit grown hydroponically in different granulometry of the substrate.

MATERIALS AND METHODS

The experiment was conducted in a greenhouse of the Colegio de Postgraduados, Montecillo, Mexico, located at 2250 m altitude, 19° 29' N and 98° 54' W.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en un invernadero del Colegio de Postgraduados, Montecillo, México, localizado a una altitud de 2250 m, 19° 29' N y 98° 54' O.

Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental fue completamente al azar, con cuatro tratamientos (tamaños de partícula de tezontle (ϕ); Tez) 3-5 (T1), 5-10 (T2), 10-20 (T3), 20-30 (T4) mm de diámetro, y con cinco repeticiones por tratamiento; con tres contenedores como unidad experimental y tres plantas de tomate por contenedor. Con los datos se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y las medias se compararon con la prueba de Tukey DHS ($p \leq 0.05$) con el programa SAS (V9, 2002).

Sustrato

El sustrato fue Tez (cuatro ϕ) mezclado con polvo y fibra de coco (PFC) en proporción 3:1 (Tez:PFC v/v), empleando 24 L de mezcla de sustrato por cada contenedor (20×10×120 cm).

Riego

La solución nutritiva Steiner (Steiner, 1984) se suministró con un sistema de riego por goteo, aplicando diariamente sólo la fracción de humedad en el intervalo de agua fácilmente disponible, sin pérdida de agua y fertilizantes, correspondiendo a 10-50 cm de columna de agua según la curva de liberación de humedad de De Boodt y Verdonck (1972). Durante el ciclo de cultivo de octubre a abril, cada 7 d se aplicó tres riegos de agua acidulada a pH 5.8 y CE 0.4 dS m⁻¹ para lavar las sales del sustrato y cada mes se monitoreó la CE y pH de una muestra de 100 mL de solución drenada del sustrato.

Solución nutritiva

Se usó la solución nutritiva Steiner para macronutrientes más el multiquelato Tradecorp A-Z[®] aportando 3 ppm de Fe²⁺. En las primeras dos semanas después del trasplante, la solución nutritiva se usó al 50 % de su concentración, 75 % en la tercera semana y 100 % desde la cuarta semana hasta finalizar el experimento (siete meses).

Material vegetal

Se usó el híbrido Caiman de ENZA ZADEN[®]. Las semillas se sembraron en charolas de poliestireno expandido de 200

Experimental design and statistical analysis

The experimental design was completely randomized, using four treatments [particle sizes (ϕ) of tezontle (cooled molten rock in volcanic vent); Tez]: 3-5 (T1), 5-10 (T2), 10-20 (T3), and 20-30 (T4) mm in diameter, with five replicates per treatment, using three containers per experimental unit and three tomato plants per container. Based on the data recorded a variance analysis (ANOVA) was performed and means were compared by applying the Tukey DHS test ($p \leq 0.05$) with the SAS (V9, 2002) program.

Substrate

Substrate was Tez (four ϕ) mixed with coconut dust and fiber (CDF) in 3:1 proportion (Tez: CDF v/v), and using 24 L of the substrate mixture for each container (20×10×120 cm).

Irrigation

The Steiner nutrient solution (Steiner, 1984) was supplied with a drip irrigation system, using daily only the fraction of moisture in the range of easily available water, without loss of water and fertilizers, corresponding to 10-50 cm water column, according to the moisture release curve by De Boodt and Verdonck (1972). During the cultivation cycle from October to April, every 7 d, three irrigations of acidulated water were applied at pH 5.8 and 0.4 dS m⁻¹ EC to wash the salts from the substrate; and each month the EC and pH of a 100 mL sample of solution drained from the substrate was monitored.

Nutrient solution

We used the Steiner nutrient solution for macronutrients plus polychelate Tradecorp A-Z[®] providing 3 ppm of Fe²⁺. In the first two weeks after transplantation, the nutrient solution was used at 50 % concentration, 75 % in the third week and 100 % from the fourth week until the end of the experiment (seven months).

Plant material

We used the ENZA ZADEN[®] Caiman hybrid. Seeds were sown in expanded polystyrene trays of 200 cavities using Growing Mix[®] peat as substrate. After 47 d the transplant was performed using three seedlings distributed equidistantly in each container, in which an orifice (5 mm ϕ) was made at each end to facilitate moisture drainage and monitor the pH and EC of the rhizosphere. Temperature was recorded daily with the HOBO[®] equipment (Onset Computer Corporation, Massachusetts, USA). The variables were evaluated in two samples: picking

cavidades usando turba Growing Mix® como sustrato. Después de 47 d se realizó el trasplante usando tres plántulas distribuidas equidistantemente en cada contenedor, en el cual se hizo un orificio (5 mm \varnothing) en cada extremo para facilitar el drenaje de humedad y monitorear el pH y CE de la rizósfera. La temperatura se registró diariamente con el equipo HOBOTM (Onset Computer Corporation, Massachusetts, EE.UU.). Las variables se evaluaron en dos muestreos: recolectando frutos del segundo y tercer racimo, 150 y 164 d después del trasplante (ddt). En ambos casos se usaron cuatro frutos en madurez de consumo (completamente rojos) por unidad experimental con cinco repeticiones, expresando los resultados como el promedio de los dos muestreos. En cada unidad experimental se midieron color (luminosidad, hue, cromía), firmeza, sólidos solubles totales, % de jugo, pH de jugo, conductividad eléctrica del jugo, acidez titulable y relación sólidos solubles totales/acidez titulable.

VARIABLES EVALUADAS

Porcentaje del jugo

Con un extractor (Tur Mix®, México) se extrajo el jugo de frutos pesados según la metodología descrita por Meaza *et al.* (2007), expresando el valor en porcentaje.

pH del jugo

En el jugo se determinó el pH usando un potenciómetro (Corning 12 Scientific Instruments, EE.UU.) según lo descrito por López-Ordaz *et al.* (2008).

Conductividad eléctrica del jugo (CE)

La CE a 25 °C en el jugo se determinó usando un equipo Conductronic PC18 (Puebla, México) y los valores se expresan en dS m^{-1} (López-Ordaz *et al.*, 2008).

Sólidos solubles totales (SST)

Los frutos se cortaron longitudinalmente, se recolectaron tres gotas de jugo y se colocaron sobre la celda de un refractómetro digital ATAGO PR-100 con escala de 0-32 % (Honcho, Itabashi-Ku, Tokyo Japón). El valor de SST se expresa en % (AOAC, 1990).

Acidez titulable (AT)

Se tomó una alícuota de 10 mL de jugo y se adicionaron tres gotas de fenolftaleína para su titulación con NaOH 0.1 N

fruit from the second and third cluster, 150 and 164 d after transplanting (dat). In both cases four fruits in consumption ripeness (completely red) were used per experimental unit, with five replicates, expressing results as the average of the two samples. In each experimental unit color (brightness, hue, chroma), firmness, total soluble solids, juice %, juice pH, juice electrical conductivity, titratable acidity and total soluble solids/ titratable acidity ratio, were measured.

EVALUATED VARIABLES

Juice percentage

With an extractor (Tur Mix®, Mexico) juice from weighed fruits was extracted, according to the methodology described by Meaza *et al.* (2007), expressing values in percent.

Juice pH

The juice was analyzed for pH using a potentiometer (Corning 12 Scientific Instruments, USA), as described by López-Ordaz *et al.* (2008).

Electrical conductivity of juice (EC)

The juice EC at 25 °C was determined using the Conductronic PC18 equipment (Puebla, México) and the values are expressed in dS m^{-1} (López-Ordaz *et al.*, 2008).

Total soluble solids (TSS)

Fruits were cut longitudinally, three drops of juice were collected and placed on the cell of an ATAGO PR-100 digital refractometer with a 0-32 % scale (Honcho, Itabashi-Ku, Tokyo, Japan). The TSS values are expressed in % (AOAC, 1990).

Titratable acidity (TA)

We took an aliquot of 10 mL of juice and added three drops of phenolphthalein for titration with 0.1 N NaOH, according to the methodology of the AOAC (1990). Acidity expressed as: $\text{AT}(\%) = [V_{\text{NaOH}} (\text{mL}) \times N_{\text{NaOH}} (\text{meq/mL}) \times \text{milliequivalents of citric acid} (0.064 \text{ g/meq}) / \text{juice } V (\text{mL})] \times 100$.

TSS/TA ratio

It was calculated as the ratio between TSS and TA, according to De Bruyn *et al.* (1971).

según la metodología de AOAC (1990). La acidez se obtuvo así:
 $AT(\%) = [V_{NaOH} \text{ (mL)} \times N_{NaOH} \text{ (meq/mL)} \times \text{miliequivalentes de ácido cítrico (0.064 g/meq)} / V \text{ jugo (mL)}] \times 100$.

Relación SST/AT

Se calculó como el cociente entre SST y AT, de acuerdo con De Bruyn *et al.* (1971).

Firmeza

La firmeza del fruto se midió con un texturómetro FDV-30 (Greenwich, CT 06836, EE.UU.) de puntal cónico (8 mm de diámetro), tomando dos lecturas de forma opuesta en la región ecuatorial, registrando la resistencia de la piel a la punctura en newtons (N) (Shewfelt, 1993).

Color (luminosidad, hue, croma)

Con el colorímetro Hunter Lab D25-PC2 (Reston, Virginia, EE.UU.) se tomaron los valores L, a y b en dos zonas opuestas de la región ecuatorial de cada fruto. Con estos valores se calculó el ángulo de tono (hue) y la pureza del color (croma) con las fórmulas: $Hue = \tan^{-1} (b/a)$; $Croma = (a^2 + b^2)^{1/2}$ (Little, 1975); y la luminosidad L obtenido directamente con el colorímetro, los cuales corresponden al espacio de color $L^*a^*b^*$ según (Minolta, 2007).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante el periodo de fructificación, la temperatura promedio diaria osciló de 18 a 35 °C (Figura 1) y esto puede afectar el color del fruto porque si su temperatura excede los 30 °C, el contenido de licopeno disminuye (Brandt *et al.*, 2006), el cual se correlaciona positivamente ($R^2=0.96$) con el color del fruto de tomate (Arias *et al.*, 2000). El intervalo óptimo de temperatura es de 16 a 26 °C (Dumas *et al.*, 2003).

Durante el ciclo de cultivo se suministró sólo la fracción de agua fácilmente disponible sin pérdidas de agua y fertilizantes, lo cual causó salinidad y alcalinidad en el sustrato. La acumulación de fertilizantes en el sustrato incrementó la conductividad eléctrica en éste. Estos aumentos en la solución drenada tenían la misma magnitud en todos los tratamientos iniciando con promedio de 1.3 en el primer mes de cultivo, hasta 4.3 dS m^{-1} al final del experimento (Figura 1). Esto puede modificar la calidad del fruto (Mizrahi,

Firmness

Fruit firmness was measured with a FDV-30 texture analyzer (Greenwich, CT 06836, USA) of conical strut (8 mm in diameter), taking two opposite readings on the equatorial region, recording skin resistance to puncture in newtons (N) (Shewfelt, 1993).

Color (brightness, hue, chroma)

With a Hunter Lab D25-PC2 colorimeter (Reston, Virginia, USA) L, a and b values were taken, in two opposite equatorial region on each fruit. With these values we calculated the hue angle and color purity (chroma) with the formulas: $Hue = \tan^{-1} (b/a)$; $Croma = (a^2 + b^2)^{1/2}$, (Little, 1975); and L brightness obtained directly with the colorimeter, which correspond to the space of color $L^*a^*b^*$ (Minolta, 2007).

RESULTS AND DISCUSSION

During the fruiting period, the day average temperature ranged from 18 to 35 °C (Figure 1); this may affect fruit color because if temperature exceeds 30 °C, the content of lycopene decreases (Brandt *et al.*, 2006), which is positively correlated ($R^2=0.96$) with the tomato fruit color (Arias *et al.*, 2000), The optimum temperature interval is from 16 to 26 °C (Dumas *et al.* 2003).

During the cultivation cycle only the fraction of water easily available was provided without loss of water and fertilizers, which caused salinity and alkalinity in the substrate. The accumulation of fertilizers in the substrate led to an increase of electrical conductivity in it. These increases in the drained solution were of the same magnitude in all the treatments tested, starting with average of 1.3 in the first month of cultivation, up to 4.3 dS m^{-1} at the end of the experiment (Figure 1). This can change the fruit quality (Mizrahi, 1982; Cuartero and Fernández-Muñoz, 1999; Tuzel *et al.*, 2003) because the tomato is moderately sensitive to salinity with a tolerance threshold of 2.5 dS m^{-1} in the rhizosphere of the plant (Maas and Hoffman, 1977). Consequently, higher values may cause adverse effects on fruit quality variables such as a reduction in fruit size and increased pH of the juice (Yurtseven *et al.*, 2005).

The pH of the nutrient solution showed the same trend of the EC, from 6.5 in the first month

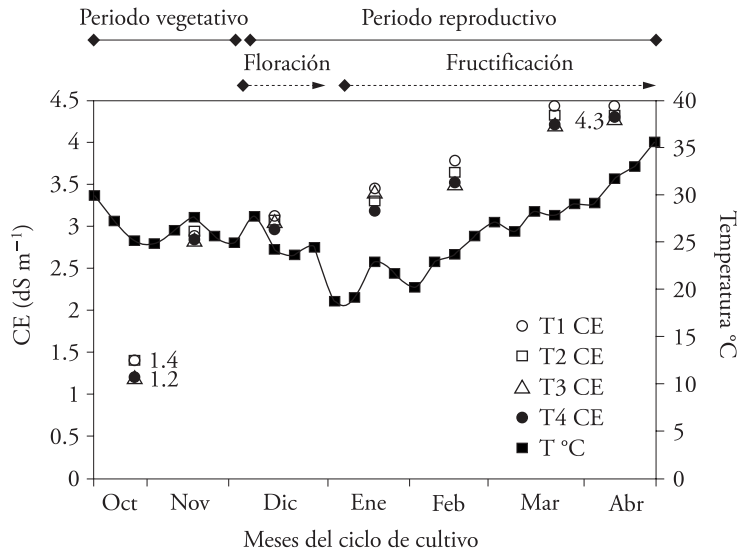


Figura 1. Conductividad eléctrica (CE) de la solución drenada del sustrato y temperatura durante el ciclo del cultivo, de octubre de 2009 a abril de 2010.
 Figure 1. Electrical conductivity (EC) of the substrate drained solution and temperature during the crop cycle from October 2009 to April 2010.

1982; Cuartero y Fernández-Muñoz, 1999; Tüzel *et al.*, 2003) porque el tomate es moderadamente sensible a la salinidad con un umbral de tolerancia de 2.5 dS m^{-1} en la rizósfera de la planta (Maas y Hoffman, 1977). En consecuencia, valores superiores pueden causar efectos negativos en variables de calidad del fruto como reducción en el tamaño de fruto y aumento en el pH del jugo (Yurtseven *et al.*, 2005).

El pH de la solución nutritiva presentó la misma tendencia que la CE, desde 6.5 en el primer mes de cultivo hasta 8.4 al terminar el experimento en todos los tratamientos (datos no mostrados). El aumento del pH y CE en las soluciones nutritivas puede bloquear la absorción de algunos nutrimentos por las plantas debido a la formación de precipitados o bien al cambio en la especie química de los iones. Un ejemplo es la formación de carbonatos de calcio y magnesio con pH mayor a 8.3. La formación de fosfatos de calcio ocurre cuando el producto de la concentración de Ca^{2+} y HPO_4^{2-} en la solución nutritiva rebasa 2.2 mmol m^{-3} y la formación de sulfato de calcio cuando el producto de la concentración de Ca^{2+} y SO_4^{2-} es igual o mayor a 60 mmol m^{-3} en la solución nutritiva lo cual reduce la solubilidad de Fe^{2+} y Mn^{2+} (Steiner, 1984; Lara, 1999; Núñez, 2008).

Los incrementos registrados en los valores de pH y CE de la solución en contacto con la raíz, se atribuye a la falta de una fracción del volumen de riego diario constituido sólo por agua para el lavado de sales y así evitar riesgos de salinización de la rizósfera, que puede conducir a la reducción del rendimiento (U.S.

of growth up to 8.4 at the end of the experiment in all treatments (data not shown). Increased pH and EC of nutrient solutions can block the absorption of some nutrients by plants due to the formation of precipitates or a change in the chemical species of ions. An example is the formation of carbonates of calcium and magnesium at pH higher than 8.3. The formation of calcium phosphates occurs when the result of the concentration of Ca^{2+} and HPO_4^{2-} in the nutrient solution exceeds 2.2 mmol m^{-3} and the formation of calcium sulphate when the result of the concentration of Ca^{2+} and SO_4^{2-} is equal to or greater than 60 mmol m^{-3} in the nutrient solution and this reduces the solubility of Fe^{2+} and Mn^{2+} (Steiner, 1984; Lara, 1999; Núñez, 2008).

The increases in pH values and EC of the solution in contact with the root is attributed to the lack of a fraction of the daily watering volume consisting only of water for washing salts and thus avoid the risk of salinization of the rhizosphere, which can lead to a yield decline (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954; Papadopoulos, 1991; Goykovic and Saavedra, 2007). In tezontle washing fractions of 31-38 % are reported in the commercial production of tomato with no yield losses (Ojodeagua *et al.*, 2008).

The different particle sizes of tezontle evaluated here showed their effects on pH and % of tomato fruit juice. The juice pH was better with T1, as compared to T2 and T3; a higher % of juice was obtained in T1 as compared to T3 (Table 1). Yurtseven *et al.* (2005)

Salinity Laboratory Staff, 1954; Papadopoulos, 1991; Goykovic y Saavedra, 2007). En tezontle se reportan fracciones de lavado del 31-38 % en la producción comercial de tomate sin pérdidas en el rendimiento (Ojodeagua *et al.*, 2008).

Las diferentes granulometrías de tezontle evaluadas mostraron efectos en pH y % de jugo del fruto de tomate. El pH del jugo fue mejor con respecto a T2 y T3; mientras que con T1 se obtuvo un mayor % de jugo, respecto a T3 (Cuadro 1). Yurtseven *et al.* (2005) reportan una disminución de 12 % (4.5 a 3.9) en el pH del jugo de tomate H2274-Oturak por efectos de salinidad desde 0.25 a 10 dS m⁻¹, lo cual se asemeja a los resultados del presente estudio donde el pH promedio fue 4.79 con aumentos en la salinidad de 3.4 a 4.3 dS m⁻¹ en el periodo de producción (Figura 1). No obstante, esto varía de acuerdo al genotipo porque se reportan pH del jugo de tomate de 3.78 a 5.25 (Turhan y Seniz, 2009). Además, el porcentaje de jugo se comportó similar al pH, mostrando poca variación (<3 %) en T3 con respecto al mejor tratamiento T1 (92.32 % de jugo).

El tamaño de partícula de tezontle no afectó SST, AT, relación SST/AT y la CE del jugo de tomate (Cuadro 1). Sin embargo, debido a la salinidad (Figura 1), estas variables de calidad mostraron valores superiores de acuerdo a lo reportado para SST (3.4 a 5.5 %) y AT (0.22 a 0.4 %) para diferentes cultivares y ambientes de cultivo (Cantwell *et al.*, 2007; Turhan y Seniz, 2009). No hubo efectos del tamaño de partícula de tezontle, y el promedio de los resultados en SST (7.13 %) y AT (0.616 %) se atribuye a la salinidad (Figura 1). En este sentido, Cuartero y Fernández-Muñoz (1999) señalan un aumento proporcional en los sólidos solubles de 4.7 a 8 % (°Brix)

report a 12 % (4.5 to 3.9) decrease in the pH of tomato juice H2274-Oturak because of the effects of salinity from 0.25 to 10 dS m⁻¹, which is similar to the results of the present study where the average pH was 4.79, with increases in salinity from 3.4 to 4.3 dS m⁻¹ in the production period (Figure 1). However, this varies according to the genotype since pH values of tomato juice from 3.78 to 5.25 (Turhan and Seniz, 2009) are reported. Likewise, the percentage of juice behaved similarly to the pH, showing little variation (<3%) in T3 compared to the best treatment T1 (92.32 % juice).

The particle size of tezontle did not affect TSS, TA, TSS/TA ratio and the EC of tomato juice (Table 1). However, due to the salinity (Figure 1), these quality variables showed higher values, according to what was reported for TSS (3.4 to 5.5 %) and TA (0.22 to 0.4 %) for different cultivars and cultivation environments (Cantwell *et al.*, 2007; Turhan and Seniz, 2009). The tezontle particle size had no effect on results, and average TSS (7.13 %) and TA (0.616 %) results are attributable to salinity (Figure 1). In this sense, Cuartero and Fernández-Muñoz (1999) indicate a proportional increase in soluble solids from 4.7 to 8 % (°Brix) and acidity (from 75 to 232 meq L⁻¹) from 0.48 to 1.48 % as salinity increased from 2 to 9 dS m⁻¹, while in ripe tomato fruit 7.5 % TSS was obtained at 5 dS m⁻¹ EC in the nutrient solution (Yurtseven *et al.*, 2005).

Al-Yahyai *et al.* (2010) report a TSS/TA ratio of 13.16 and 12.60 at salinity values of 6 and 9 dS m⁻¹ and the average of these values exceeds by 9.5 % that obtained (11.66) in this study (Table 1). The values of the TSS/TA ratio in this research are attributed to lower salinity in the substrate (Figure 1).

Cuadro 1. Efecto de los tamaños diferentes de partícula de tezontle sobre la calidad química de frutos de tomate cv. Caiman. Table 1. Effect of different particle sizes of tezontle on the chemical quality of cv. Caiman tomato fruits.

Tratamiento	†Tez ø (mm)	pH	CE (dS m ⁻¹)	% jugo	‡AT (%)	§SST (%)	SST/AT
T1	3 - 5	4.86 a ^b	5.46 a	92.32 a	0.608 a	7.24 a	11.92 a
T2	5 - 10	4.76 b	5.18 a	90.72 ab	0.658 a	7.08 a	10.84 a
T3	10 - 20	4.76 b	5.34 a	89.68 b	0.594 a	7.08 a	11.98 a
T4	20 - 30	4.78 ab	5.08 a	90.26 ab	0.606 a	7.12 a	11.92 a
DHS [¶]	-	0.0949	0.3944	2.2123	0.114	0.4692	2.02
CV (%)	-	1.095	4.140	1.347	10.194	3.637	9.55

†Tezontle de cuatro diámetros (ø); ‡acidez titulable; §sólidos solubles totales; ^bmedias con letra distinta en una columna son estadísticamente diferentes (p≤0.05); [¶]diferencia honesta significativa * †Tezontle of four diameters (ø) ‡titratable acidity; §total soluble solids; ^bmeans with different letter in a column are statistically different (p≤0.05); [¶]honest significant difference.

y en acidez (75 a 232 meq L⁻¹) de 0.48 a 1.48 % al aumentar la salinidad de 2 a 9 dS m⁻¹, mientras que en el fruto de tomate maduro se obtienen SST de 7.5 % a una CE de 5 dS m⁻¹ en la solución nutritiva (Yurtseven *et al.*, 2005).

Al-Yahyai *et al.* (2010) reportan una relación SST/AT de 13.16 y 12.60 a salinidades de 6 y 9 dS m⁻¹; y el promedio de estos resultados supera en 9.5 % al obtenido (11.66) en el presente estudio (Cuadro 1). Los valores de la relación SST/AT en esta investigación se atribuyen a una menor salinidad en el sustrato (Figura 1).

Según Tüzel *et al.* (2003), no hay diferencias significativas en la CE del jugo de tomate para valores de 2 a 6 dS m⁻¹ en la solución nutritiva, lo cual se observó en los resultados del presente estudio debido al efecto de la salinidad (Figura 1) sobre la CE del jugo (Cuadro 1). A pesar de los efectos benéficos de la salinidad sobre la calidad del fruto de tomate, su manipulación debe ser cuidadosa por ser un fruto climatérico altamente perecedero (Hobson, 1988; Adams and Ho, 1992; Saure, 2001).

Los tamaños de partícula de tezontle afectaron los atributos físicos de color luminosidad y hue, evaluados en el espacio de color L*a*b* (CIELab), con excepción del cromatismo. El tezontle de 5 a 10 mm \varnothing fue el mejor tratamiento para luminosidad, y el tezontle de 10 a 20 y 20 a 30 mm \varnothing para hue (Cuadro 2).

El color rojo de los frutos de tomate resulta de la síntesis de carotenos, principalmente del licopeno (Giuliano *et al.*, 1993; Fraser *et al.*, 1994; White, 2002). Una salinidad de 0.5 a 15.7 dS m⁻¹ influye

According to Tuzel *et al.* (2003), there are no significant differences in the EC of tomato juice, for values between 2 and 6 dS m⁻¹ in the nutrient solution, which was observed in the results of this study (Figure 1) due to the effect of salinity on the EC of juice. Despite the beneficial effects of salinity on the tomato fruit quality, its handling should be carefully performed as it is a climacteric highly perishable fruit (Hobson, 1988; Adams and Ho, 1992; Saure, 2001).

The particle sizes of tezontle affected the physical attributes of color brightness and hue, both assessed in space Color L*a*b* (CIELab), except for chroma. The tezontle from 5 to 10 mm \varnothing was the best treatment for brightness, and tezontle from 10 to 20 and 20 to 30 mm \varnothing for hue (Table 2).

The red color of tomato fruit is the result of the synthesis of carotenoids, mainly lycopene (Giuliano *et al.*, 1993; Fraser *et al.*, 1994; White, 2002). Salinity between 0.5 to 15.7 dS m⁻¹ affects the synthesis of lycopene, promoting a sigmoidal behavior of this carotenoid, and yielding the highest content of lycopene at 4.4 dS m⁻¹ (De Pascale *et al.*, 2001). However, the salinity found in the rhizosphere (Figure 1) is not consistent with the average values of the hue angle (32.81) and purity of color or chroma (29) in our study. This behavior is attributed to temperature fluctuation (28, 29 and 30 °C) during the fruit harvesting, which can influence the synthesis of lycopene and therefore the color hue and chroma attributes. During tomato fruit ripening, high temperatures

Cuadro 2. Efecto de los tamaños diferentes de partícula de tezontle sobre la calidad física de frutos de tomate cv. Caiman.

Table 2. Effect of different particle sizes of tezontle on the physical quality of cv. Caiman tomato fruits.

Tratamiento	Tezontle (mm)	Color			Firmeza (N)
		Luminosidad	Hue	Croma	
T1	3 - 5	31.40 b [†]	32.02 b	28.64 a	1.52 b
T2	5 - 10	32.12 a	32.70 ab	29.08 a	1.60 ab
T3	10 - 20	31.88 ab	33.38 a	29.04 a	1.66 a
T4	20 - 30	31.78 ab	33.14 a	29.30 a	1.60 ab
DHS [‡]	-	0.6562	1.0461	1.0774	0.1279
CV (%)	-	1.141	1.762	2.052	4.433

[†]Medias con letra distinta en una columna son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$). [‡]DHS: diferencia honesta significativa [‡]Means with different letter in a column are statistically different ($p \leq 0.05$).

[‡]DHS: honest significant difference.

en la síntesis de licopeno, al promover un comportamiento sigmoidal de este carotenoide, obteniendo el mayor contenido de licopeno a 4.4 dS m^{-1} (De Pascale *et al.*, 2001). Sin embargo, la salinidad encontrada en la rizósfera (Figura 1), no concuerda con los valores promedio en el ángulo de tono (32.81) y pureza del color o croma (29) en el presente estudio. Este comportamiento se atribuye a la oscilación de la temperatura (28, 29 y 30 °C) durante la cosecha de los frutos, lo cual puede incidir en la síntesis de licopeno y por tanto en los atributos del color hue y croma. Durante la maduración del fruto de tomate, las altas temperaturas inhiben la síntesis de licopeno, pero no la del β -caroteno (Tran *et al.*, 1999). Si la temperatura supera 30 °C, el contenido de licopeno disminuye (Brandt *et al.*, 2006), y el intervalo óptimo es 16 a 26 °C (Dumas *et al.*, 2003).

El fruto de tomate se consume a su máxima calidad organoléptica, la cual ocurre cuando alcanza el estado de color rojo, pero antes de estar demasiado suave. La coloración roja resulta de la degradación de la clorofila y de la síntesis de licopeno y otros carotenoides (López y Gómez, 2004). En el espacio de color L^* (de blanco a negro), a^* (de verde a rojo) y b^* (de azul a amarillo) (Figura 2), el fruto de tomate se ubica como un color rojo opaco. En este caso, los resultados promedio del presente estudio fueron inferiores en hue (32.81) 12.5 % y luminosidad

inhibit the synthesis of lycopene, but not that of β -carotene (Tran *et al.*, 1999). If temperature exceeds 30 °C, the lycopene content decreases (Brandt *et al.*, 2006), being the optimum interval between 16 and 26 °C (Dumas *et al.*, 2003).

The tomato fruit is consumed at its maximum organoleptic quality, which occurs when it reaches the red color state, but before being too soft. The red coloration is the result of chlorophyll degradation and synthesis of lycopene and other carotenoids (López and Gómez, 2004). In the color space L^* (from white to black), a^* (from green to red) and b^* (blue to yellow) (Figure 2), the tomato fruit is located as dull red. In this case, the average results of our study were lower in hue (32.81) 12.5 % and brightness (31.795) 20.5 % compared to the ranges proposed by Cantwell *et al.* (2007) of 35 to 40 in hue with a strong red color, and 39 to 41 in brightness for different varieties.

The particle size of tezontle affected fruit firmness and was 9 % higher in T3 compared to the lowest value of T1 (Table 2). Despite these differences, the average results (1.595 N) of this study were 10 % higher according to Batu (2004), who noted that the tomato fruits 100 % marketable must show a 1.45 N firmness and in the domestic consumption stage, above 1.28 N. However, firmness is affected by both the salinity due to increased activity of enzymes

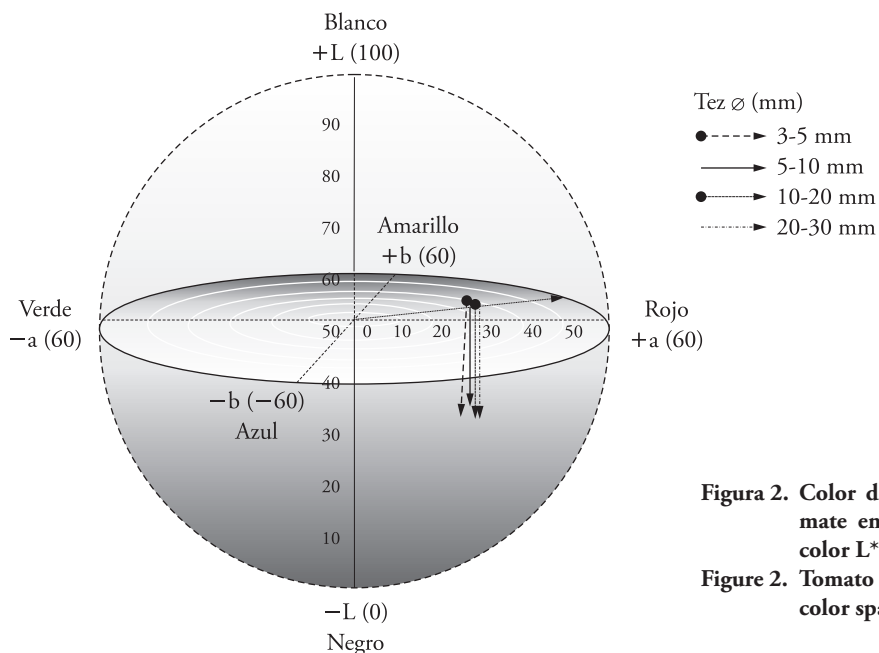


Figura 2. Color del fruto de tomate en el espacio de color $L^*a^*b^*$.
 Figure 2. Tomato fruit color in color space $L^*a^*b^*$.

(31.795) 20.5 %, respecto a los intervalos propuestos por Cantwell *et al.* (2007) de 35 a 40 en hue para un marcado color rojo; y de 39 a 41 en luminosidad para diferentes variedades.

El tamaño de partícula de tezontle afectó la firmeza de los frutos y fue 9 % superior en T3 comparado con el valor más bajo en T1 (Cuadro 2). A pesar de estas diferencias, los resultados promedio (1.595 N) de este estudio fueron 10 % superior de acuerdo con Batu (2004), quien señala que los frutos de tomate 100 % comercializables deben presentar una firmeza de 1.45 N y en la etapa de uso doméstico mayor de 1.28 N. No obstante la firmeza es afectada tanto por la salinidad debido a una mayor actividad de las enzimas encargadas de la degradación de la pared celular (Mizrahi, 1982), como por el aumento del pH, (>8) causando el bloqueo del calcio disponible para las plantas (Lara, 1999), lo cual incide en este atributo (ZhiHua y ZhiHui, 2009). Pero debido al tiempo de evaluación (hasta el cuarto racimo) los efectos causados por la salinidad y la alcalinidad sobre este atributo no fueron visibles.

Los atributos de calidad de fruto como color, SST, índices de acidez, pH, firmeza son afectados por variaciones genotípicas, pero condiciones de crecimiento, irradiancia, estación de cultivo, nutrición, riego, temperatura, enfermedades y condiciones postcosecha son críticos para la calidad (Winsor, 1979; Brandt *et al.*, 2006; Turhan y Seniz, 2009). Lo anterior fue evidente en esta investigación, porque la salinidad y la alcalinidad del sustrato fueron factores determinantes en los resultados.

CONCLUSIONES

El pH, % de jugo, firmeza, luminosidad y hue, son atributos de calidad del fruto de tomate afectados positivamente por los tamaños de partícula de tezontle combinado con el polvo y fibra de coco en proporción 3:1. Además, los sustratos evaluados no influenciaron los valores de sólidos solubles totales, acidez titulable, relación sólidos solubles totales/acidez titulable, conductividad eléctrica y croma. Estos resultados se deben a el suministro de agua fácilmente disponible, sin pérdidas de humedad y fertilizantes, que generaron salinidad y alcalinidad en el sustrato, e influyeron en los atributos de calidad fisicoquímica del fruto de tomate producido en hidroponía.

responsible for cell wall degradation (Mizrahi, 1982), and by increasing the pH (>8) causing a blockage of calcium available for plants (Lara, 1999), thus affecting this attribute (ZhiHua and ZhiHui, 2009). But due to the time of evaluation (up to fourth cluster) the effects caused salinity and alkalinity on this attribute were not visible.

Fruit quality attributes such as color, TSS, indices of acidity, pH, and firmness are affected by genotypic variations, but growing conditions, irradiance, growing season, nutrition, irrigation, temperature, post-harvest diseases and conditions are critical to quality (Winsor, 1979; Brandt *et al.*, 2006; Turhan and Seniz, 2009). This was evident in this research since the substrate salinity and alkalinity were determining factors in the results.

CONCLUSIONS

The pH, juice %, firmness, brightness and hue are attributes of tomato fruit quality affected positively by the particle sizes of tezontle (cooled molten rock in volcanic vent) combined with dust and coconut fiber at a 3:1 ratio. Also, the substrates tested did not influence the values of total soluble solids, titratable acidity, the ratio of total soluble solids/titratable acidity, electrical conductivity and chroma. These results are due to supply of water easily available, without loss of moisture and fertilizers, that generated salinity and alkalinity in the substrate, and influenced the physicochemical quality attributes of tomato fruit produced in hydroponics.

—End of the English version—



LITERATURA CITADA

- Adams, P., and L. C. Ho. 1992. The susceptibility of modern tomato cultivars to Blossom-End Rot in relation to salinity. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 67(6): 827-840.
- Alam, M., M. Rahman, M. Mamun, I. Ahmad, and K. Islam. 2006. Enzyme activities in relation to sugar accumulation in tomato. *Proc. Pak. Acad. Sci.* 43(4): 241-248.
- Al-Yahyai, R., S. Al-Ismaily, and S. A. Al-Rawahy. 2010. Growing tomatoes under saline field conditions and the role of fertilizers. A Monograph on Management of Salt-Affected Soils and Water for Sustainable Agriculture. pp: 83-88.

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Official Methods of Analysis. 15th edition. Ed. Washington DC. USA.
- Arias, R., T. C. Lee, L. Logendra, and H. Janes. 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. *J. Agric. Food Chem.* 48: 1697-1702.
- Batu, A. 2004. Determination of acceptable firmness and color values of tomatoes. *J. Food Eng.* 61: 471-475.
- Brandt, S., Z. Pék, E. Barna, A. Lugasi, and L. Helyes. 2006. Lycopene content and colour of ripening tomatoes as affected by environmental conditions. *J. Sci. Food Agric.* 86(4): 568-572.
- Cantwell, M., S. Stoddard, M. LeStrange, and B. Aegerter. 2007. Report to the California tomato commission. Tomato variety trials: postharvest evaluations for 2006. UCCE Fresh Market Tomato Variety Trial 2006 Postharvest Evaluation. UC Davis, Davis Ca. USA. 16 p.
- Cuartero, J., and R. Fernández-Muñoz. 1999. Tomato and salinity. *Scientia Horticulturae* 78: 83-125.
- Davies, J. N., and G. E. Hobson. 1981. The constituents of tomato fruit—the influence of environment, nutrition and genotype. *CRC Critical Rev. Food Sci. Nutr.* 15(3): 205-280.
- De Boodt, M., and O. Verdonck. 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Horticulturae*, 26: 37-44.
- De Bruyn J. W., F. Garretsen, and E. Kooistra. 1971. Variation in taste and chemical composition of the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Euphytica* 20: 214-227.
- De Pascale, S., A. Maggio, V. Fogliano, P. Ambrosino, and A. Ritieni. 2001. Irrigation with saline water improves carotenoid content and antioxidant activity of tomato. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 76(4): 447-453.
- Dumas, Y., M. Dado, G. Di Lucca, and P. Grolier. 2003. Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *J. Sci. Food Agric.* 83: 369-382.
- Fraser, P. D., M. R. Truesdale, C. R. Bird, W. Schuch, and P. M. Bramley. 1994. Carotenoid biosynthesis during tomato fruit development (Evidence for tissue-specific gene expression). *Plant Physiol.* 105(1): 405-413.
- Giuliano, G., G. E. Bartley, and P. A. Scolnik. 1993. Regulation of carotenoid biosynthesis during tomato development. *Plant Cell* 5: 379-387.
- Goykovic C., V., y G. Saavedra R. 2007. Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *IDESIA (Chile)* 25(3): 47-58.
- Grierson, D., and A. A. Kader. 1986. Fruit ripening and quality. *In: Atherton, J. G., and J. Rudich (eds). The Tomato Crop. A Scientific Basis for Improvement.* Chapman and Hall (Ed.). London and New York. pp: 241-280.
- Hobson, G. E. 1988. Pre- and post-harvest strategies in the production of high quality tomato fruit. *Appl. Agric. Res.* 3(5): 282-287.
- Kader, A. A. 2002. Quality and safety factors: definition and evaluation for fresh horticultural crops. *In: Kader, A. A. (ed). Postharvest Technology of Horticultural Crops.* Third edition. University of California, Agriculture and Natural Resources Pub. 3311. USA. pp: 279-286.
- Lara H., A. 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra* 17(3): 221-229.
- Little, A. C. 1975. Research note off on a tangent. *J. Food Sci.* 40(2): 410-411.
- López C., A. F., and P. A. Gómez. 2004. Comparison of color indexes for tomato ripening. *Hort. Bras.* 22(3): 534-537.
- López-Ordaz, A., C. Trejo-López, C. B. Peña-Valdivia, C. Ramírez-Ayala, L. Tijerina-Chávez, y J. A. Carrillo-Salazar. 2008. Secado parcial de la raíz de jitomate: Efectos en la fisiología de la planta y calidad de fruto. *Agric. Téc. Méx.* 34(3): 297-302.
- Maas, E. V., and G. J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance, current assessment. *J. Irrig. Drainage Div., ASCE* 103(2): 115-134.
- Marín-Rodríguez, M. C., J. Orchard, and G. B. Seymour. 2002. Pectate lyases, cell wall degradation and fruit softening. *J. Exp. Bot.* 53: 2115-2119.
- Meaza, M., T. Seyoum, and K. Woldetsadik. 2007. Effects of preharvest treatments on yield and chemical composition of tomato. *Afr. Crop Sci. J.* 15(3): 149-159.
- Minolta, K. 2007. Precise color communication. *Kónica Minolta Sensing, Inc. Japan.* 59 p.
- Mizrahi, Y. 1982. Effect of salinity on tomato fruit ripening. *Plant Physiol.* 69: 966-970.
- Núñez E., R. 2008. El suelo como medio natural en la nutrición de cultivos. *In: Trejo-Téllez, L. I., y G. Alcántar G. (eds). Nutrición de Cultivos. 2ª reimpresión.* Edit. Mundi-Prensa. México. pp: 93-157.
- Ojodeagua A., J. L., J. Z. Castellanos R., J. J. Muñoz R., G. Alcántar G., L. Tijerina Ch., P. Vargas T., y S. Enríquez R. 2008. Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. *Rev. Fitotec. Mex.* 31(4): 367-374.
- Padmini, T. 2006. Studies on storage behavior of tomatoes coated with chitosan-lysozyme films. Department of Bioresource Engineering. McGill University. Montreal, Canada. 2 p.
- Papadopoulos, A. P. 1991. Growing greenhouse tomatoes in soil and in soilless media. Research Station Harrow Ontario. Agriculture Canada. Publication 1865/E. 79 p.
- Petro-Turza, M. 1986. Flavor of tomato and tomato products. *Food Rev. Int.* 2(3): 309-351.
- SAS. 2002. SAS Institute Inc. Cary NC. USA.
- Saure, M. C. 2001. Blossom-end rot of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) —a calcium— or a stress-related disorder? *Scientia Horticulturae* 90: 193-208.
- Shewfelt, R. L. 1993. Measuring quality and maturity. *In: Postharvest Handling. A Systems Approach.* Academic Press Inc (ed.). San Diego Cal., USA. pp: 99-124.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. *In: Proceedings Sixth International Congress on Soilless Culture, ISOSC.* Lunteren, Wageningen, The Netherlands. pp: 633-650.
- Tran, T. L. H., and L. C. Raymundo. 1999. Biosynthesis of carotenoids in bittermelon at high temperature. *Phytochemistry* 52: 275-280.
- Turhan, A., and V. Seniz. 2009. Estimation of certain chemical constituents of fruits of selected tomato genotypes grown in Turkey. *Afr. J. Agric. Res.* 4: 1086-1092.
- Tüzel, Y., I. H. Tüzel, and F. Ücer. 2003. Effects of salinity on tomato growing in substrate culture. *Acta Horticulturae* 609: 329-335.

- U. S. Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U. S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook 60. U. S. Government Printing Office, Washington, DC., USA. 160 p.
- Winsor, G. W. 1979. Some factors affecting the quality and composition tomatoes. *Acta Horticulturae* 93: 335-346.
- White, P. J. 2002. Recent advances in fruit development and ripening: an overview. *J. Exp. Bot.* 53(377): 1995-2000.
- Yilmaz, E. 2001. The chemistry of fresh tomato flavor. *Turk. J. Agric. For.* 25: 149-155.
- Yurtseven, E., G. D. Kesmez, and A. Ünlükara. 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*). *Agric. Water Manage.* 78: 128-135.
- Zhi-Hua, G., and C. Zhi-Hui. 2009. Effects of foliage application of calcium on fruit firmness and quality related indexes in processing tomato. *J. Northwest A&F University-Natural Sci.* 37(10): 145-150.