



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS GRÍCOLAS

## **CAMPUS MONTECILLO**

POSTGRADO DE EDAFOLOGÍA

### **PRODUCCIÓN DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) EN DIFERENTES GRANULOMETRÍAS DE “TEZONTLE”**

**CESAR SAN MARTÍN HERNÁNDEZ**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS**

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2011

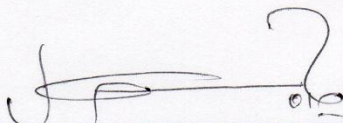
La presente tesis, titulada: **Producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en diferentes granulometrías de “tezontle”** realizada por el alumno: **Cesar San Martín Hernández**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**EDAFOLOGÍA**

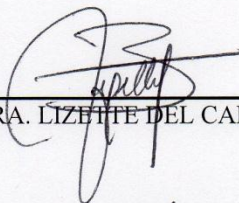
**CONSEJO PARTICULAR**

CONSEJERO:



DR. VICTOR M. ORDAZ CHAPARRO

ASESOR:




DRA. LIZETTE DEL CARMEN BORGES GÓMEZ

ASESOR:



DRA. MARÍA TERESA B. COLINAS LEÓN

ASESOR:



DR. PROMETEO SÁNCHEZ GARCÍA

Montecillo, Texcoco, México, Abril de 2011

# PRODUCCIÓN DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) EN DIFERENTES GRANULOMETRÍAS DE “TEZONTLE”

Cesar San Martín Hernández, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2011

En el mundo moderno, la producción de alimentos demanda tecnologías más eficientes y en armonía con el ambiente. Esta investigación se efectuó con el propósito de evaluar la producción de tomate en condiciones protegidas e hidroponía, caracterizando previamente las propiedades físicas del sustrato, el cual consistió en mezclar cuatro tamaños de partícula de escoria volcánica roja “tezontle” (Tez) de 3-5, 5-10, 10-20 y 20-30 mm de diámetro con polvo y fibra de coco (PFC) en las proporciones 1:0, 3:1 y 1:1 (Tez:PFC). En contenedores con 24 L de sustrato, se trasplantaron tres plántulas de tomate. Las plantas se regaron con la solución Steiner aplicando solo la fracción de humedad del rango “agua fácilmente disponible”. Mensualmente se monitoreó la conductividad eléctrica (CE) y pH de la solución drenada del sustrato. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado empleando tres contenedores por unidad experimental con cinco repeticiones. En las mezclas de sustratos se determinó: la porosidad total (PT), porosidad de aireación (Pai), porosidad de retención de humedad (Prh), densidad aparente y la curva de retención de humedad. En el cultivo de tomate se evaluó: altura de planta (AP), materia seca de hojas (MSH) y tallo (MST), relación hoja tallo (R H/T), rendimiento de fruto por planta (R); y en el fruto maduro: sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), relación SST/AT (SST/AT), porcentaje de jugo (% J), CE del jugo (CE J), pH del jugo (pH J), firmeza (F) y color (Luminosidad *L*, Hue *H* y Cromo *C*). Con relación a los resultados se comprobó que la porosidad total y la porosidad de retención de humedad fueron afectados positivamente conforme se incrementó la proporción de PFC sobre el “tezontle”; siendo la mejor mezcla en cada tamaño de partícula, la proporción 3:1. En contraste, a igualdad de condiciones de humedad, nutricionales y de propiedades físicas del sustrato, el tamaño de partícula *per se* no afectó significativamente las características agronómicas del cultivo en AP, MSH, MST, R H/T, R; ni en los atributos de calidad del fruto en SST, AT, SST/AT, % J, CE J, pH J, F, *L*, *H* y *C* del tomate.

**Palabras clave:** escoria volcánica roja, tamaño de partícula, propiedades físicas, polvo y fibra de coco, hidroponía.

# **TOMATO (*Solanum lycopersicum* L.) PRODUCTION ON DIFFERENT SIZES OF “TEZONTLE”**

Cesar San Martín Hernández, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2011

In the modern world, food production demands more efficient technologies in harmony with the environment. This research was carried out in order to assess tomato production under protected conditions and hydroponics, previously characterized the physical properties of the substrate, which consisted of mixing four particle sizes of red volcanic scoria “tezontle” (Tez) 3-5, 5-10, 10-20 and 20-30 mm in diameter with the dust and fiber coconut (DFC) in the 1:0, 3:1, and 1:1 (Tez:DFC) proportions. In containers with 24 L of substrate, three tomato seedlings were transplanted. The plants were irrigated with the Steiner solution using only the fraction of moisture in the range "easily available water". Every month, the electrical conductivity (EC) and pH of the drained solution from the substrate were monitored. We used a completely randomized design using three containers per plot, with five replications. In mixtures of substrates were determined: total porosity (TP), aeration porosity (Aep), water retention porosity (Wrp), bulk density, and water retention curve. In the tomato crop were evaluated: plant height (PH), dry matter of leaves (DML), dry matter of stems (DMS), leaf/stem ratio (L/S R), fruit yield per plant (Y); and in the mature fruit: total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA), TSS/TA ratio (TSS/TA), percentage juice (% J), EC of juice (EC J), juice pH (pH J), firmness (F) and color (Brightness *L*, Hue *H* and Chroma *C*), were evaluated. With relation to the results, it was found that the total porosity and water retention porosity were positively affected as the proportion of DFC on the “tezontle” was increased: being the 3:1 proportion, the best mix in each particle size. In contrast, to equality conditions of moisture, nutritional and the physical properties of the substrate, the particle size *per se* does not significantly affected the agronomic characteristics of the crop in PH, DML, DMS, L/S R, Y; or quality attributes of the fruit in TSS, TA, TSS/TA, % J, CE J, pH J, F, *L*, *H*, and *C* of the tomato.

**Key words:** red volcanic scoria, particle size, physical properties, dust and fiber coconut, hydroponics.

## **Dedicatoria**

A Dios porque me brindó la oportunidad de vivir sin pedir nada a cambio.

*A mis padres:*

**ÁNGELA HENÁNDEZ DE LA CRUZ Y  
ANDRÉS SAN MARTÍN**

Por haberme traído al mundo.

*A mis hermanos:*

Noé, Rafael, María Elena, Socorro, Araceli y Andrés, por el cariño que nos une y compartir momentos inolvidables.

*A mis cuñados:*

Ruben Gerónimo, Ruben y Rogelio por su apoyo y confianza.

*A mis sobrinos:*

Alex, Jose Armando, Jesús, Azul, Rogelin, Brayán, Lupita, Julio y Juan, por recordarme la inocencia y regalarme grandes momentos de alegría.

*A mis amigos (as):*

Dinora, Dalila, Lino, Familia Estrada Carmona, Juan, familia Aguilar Fajardo, Alejandro, Esteban, Patricia, Sofía, Oscar, Arturo, Mario, Gloria Virginia, Benjamín, Jose Luís, Andrés. Por compartir momentos inolvidables de alegría y trabajo, pero sobre todo por soportar a este individuo.

A mis familiares y amigos quienes son lo más valioso que tengo en el mundo porque en esta vida, más vale sumar que restar.

A todos mis profesores y compañeros con quienes durante esta etapa tuve el privilegio de aprender en las aulas de clase y en el campo.

*Sinceramente*

**CESAR SAN MARTÍN HERNÁNDEZ**

*“Nada es absoluto, todo es relativo porque todo tiene un espacio, tiempo, causa y efecto”*

## AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo otorgado para la realización de mi posgrado.

Al Colegio de Postgraduados por las facilidades otorgadas para efectuar mis estudios de posgrado.

Al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología por su valioso apoyo en los momentos difíciles durante la elaboración de este documento.

Al Dr. Victor Manuel Ordaz Chaparro por su paciencia, compartir sus conocimientos y brindarme la confianza para conducir la presente investigación.

A la Dra. María Teresa B. Colinas Leon por sus acertadas observaciones en la realización de esta investigación.

A la Dra. Lizette del Carmen Borges Gómez por sus importantes aportaciones y apoyo en el manuscrito del presente trabajo de investigación.

Al Dr. Prometeo Sánchez García por sus valiosas aportaciones durante la realización de esta investigación.

A la Dra. Libia Iris Trejo Téllez, Dra. María de las Nieves Rodríguez Mendoza, Dr. Manuel Sandoval Villa y Dr. Crescenciano Saucedo Veloz, por las facilidades otorgadas durante la realización de esta investigación.

A todos los profesores que participaron durante el proceso de esta importante etapa de mi formación profesional.

## CONTENIDO

	Pagina
ÍNDICE DE CUADROS.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
OBJETIVOS.....	2
HIPÓTESIS.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
LITERATURA CITADA.....	63
CAPÍTULO I. PRODUCCIÓN DE TOMATE ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) EN DIFERENTES GRANULOMETRÍAS DE “TEZONTLE”.....	73
Resumen.....	73
Abstract.....	74
Introducción.....	75
Materiales y métodos.....	75
Resultados y discusión.....	76
Conclusiones.....	81
Literatura citada.....	81
CAPÍTULO II. CALIDAD DE TOMATE ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) PRODUCIDO EN AGRICULTURA PROTEGIDA.....	83
Resumen.....	83
Abstract.....	84
Introducción.....	84
Materiales y métodos.....	85
Resultados y discusión.....	88
Conclusiones.....	93
Literatura citada.....	93
CONCLUSIONES GENERALES.....	97
RECOMENDACIONES.....	98

## ÍNDICE DE CUADROS

		Página
<b>Cuadro 1</b>	Caracterización física del “tezontle negro” (Castellanos y Vargas-Tapia, 2003).....	14
<b>Cuadro 2</b>	Características físicas evaluadas en “tezontle rojo” (Martínez, 2007).....	15
<b>Cuadro 3</b>	Comportamiento de la producción mundial de tomate con estadísticas de la FAO.....	18
<b>Cuadro 4</b>	Producción nacional de tomate del año 2000 al 2009.....	19
<b>Cuadro 5</b>	Volumen de producción de los principales cultivos en 2007.....	20
<b>Cuadro 6</b>	Consumo <i>per cápita</i> nacional de tomate.....	22
<b>Cuadro 7</b>	Estudios taxonómicos del tomate (adaptado de Peralta y Spooner, 2000).....	25
<b>Cuadro 8</b>	Nueva nomenclatura del tomate y sus especies silvestres.....	27
<b>Cuadro 9</b>	Nomenclatura taxonómica del tomate de acuerdo con el ITIS y la CONABIO	27
<b>Cuadro 10</b>	Cambio de color durante la maduración del tomate.....	35
<b>Cuadro 11</b>	Clasificación de los alimentos según su acidez (Cameron y Esty, 1940).....	44
<b>Cuadro 12</b>	Tamaño de fruto de tomate para exportación a Estados Unidos de América...	45
<b>Cuadro 13</b>	Azúcares en cinco etapas de madurez, en % de peso fresco.....	47
<b>Cuadro 14</b>	Glucosa y fructosa en el fruto en % de peso fresco (Davies y Hobson, 1981).	48
<b>Cuadro 15</b>	Vitaminas en frutos de tomate maduro crudo (Davies y Hobson, 1981).....	50
<b>Cuadro 16</b>	Aminoácidos libres en fruto de tomate maduro.....	51
<b>Cuadro 17</b>	Elementos minerales en frutos maduros (adaptado de Davies y Hobson, 1981)	52
<b>Cuadro 18</b>	Volátiles en tomate fresco $\geq 1$ ppb y su umbral de odor en agua (Buttery, 1993)	53
<b>Cuadro 19</b>	Contenido SIA de fruto de tomate ( $g\ 100\ g^{-1}$ peso fresco).....	54
<b>Cuadro 20</b>	Composición de la pared celular de frutos de tomate maduro.....	54
<b>Cuadro 21</b>	Carotenoides en la maduración del fruto de tomate (Fraser <i>et al.</i> , 1994).....	62



## ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
<b>Figura 1</b>	Precio promedio Anual de tomate en la Central de Abastos de la Ciudad de México. Fuente: SNIIM ( <a href="http://www.economia-sniim.gob.mx/Nuevo/">www.economia-sniim.gob.mx/Nuevo/</a> ). Consulta 10/01/2011.....	23
<b>Figura 2</b>	Precio medio mensual de tomate en la Central de Abastos de la Ciudad de México. Fuente: SNIIM ( <a href="http://www.economia-sniim.gob.mx/Nuevo/">www.economia-sniim.gob.mx/Nuevo/</a> ). Consulta: 10/01/2011.....	23
<b>Figura 3</b>	Disponibilidad de nutrimentos a distintos intervalos de pH.....	30
<b>Figura 4</b>	Diagrama de cromaticidad del espacio de color L*a*b* (hue y croma).....	38
<b>Figura 5</b>	Espacio de color L*C*h. L* Luminosidad (negro al blanco); C* croma (saturación); h (hue o ángulo de tono).....	38
<b>Figura 6</b>	Diagrama de cromaticidad x,y. Acromatico en el centro e incrementando la cromaticidad hacia los bordes.....	39
<b>Figura 7</b>	Unidad de Isopreno (isopentenil difosfato ó pirofosfato).....	55
<b>Figura 8</b>	Pasos y posibles intermedios en la biosíntesis dependiente-(TPP) de tiamina del IPP desde el piruvato y GA-3-P (Lichtenthaler, 1999).....	56
<b>Figura 9</b>	Biosíntesis de licopeno. Isopentenil pirofosfato (IPP); Isopentenil pirofosfato isomerasa (IPI); Prenil transferasa (PT); Dimetilalil pirofosfato (DMAPP); Geranil pirofosfato (GPP); Farnesil pirofosfato (FPP); Geranilgeranil pirofosfato (GGPP); y Prefitoeno pirofosfato (PPPP) (Del Villar-Martínez <i>et al.</i> , 2007).....	57
<b>Figura 10</b>	Biosíntesis de carotenoides cíclicos a partir del licopeno. Licopeno $\epsilon$ -ciclase (LCY-E); Licopeno $\beta$ -ciclase (LCY-B) (Del Villar-Martínez <i>et al.</i> , 2007).....	58
<b>Figura 11</b>	Estructura de algunos carotenoides cíclicos y acíclicos (conformación mas estable, todo trans) (Del Villar-Martínez <i>et al.</i> , 2007).....	59
<b>Figura 12</b>	Perfil de carotenoides en fruto de tomate maduro (adaptado de Clinton,1998)	61

## INTRODUCCIÓN GENERAL

El aumento constante de la población mundial con una tasa de crecimiento anual de 1.17% (81 millones), ha generado necesidades alimenticias en un medio ambiente donde los recursos son cada vez más escasos y problemáticos (FIRA 2010a). Dentro del grupo de las hortalizas, el tomate es un cultivo muy dinámico por la creciente demanda en todo el mundo. La producción mundial de tomate en 2008 se ubicó en 129.6 millones de toneladas (FIRA, 2010b). Con datos de la FAO, en orden de importancia de la producción mundial de tomate sobresalen China, Estados Unidos de América, Turquía, India, Egipto, Italia, Irán, España, Brasil y México que ha ocupado el décimo lugar del 2000 al 2008. De acuerdo al Censo Agropecuario del 2007 en el contexto nacional el tomate fue la principal hortaliza cultivada y ocupó el 7° lugar de los principales cultivos producidos. Según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) de México, del 2000 al 2009, se tuvo una reducción del 30% de la superficie sembrada con tomate, registrando la mayor superficie (76,687 ha) en el 2001 y la menor con 53,572 ha en el 2009. No obstante, actualmente la superficie de invernaderos en México sigue creciendo, donde los tomates representan entre el 8 y 12% del volumen total con aproximadamente 3,200 ha distribuidas a lo largo y ancho del país con rendimientos que pueden variar de 150 a 200 ton ha<sup>-1</sup>, dependiendo del grado de desarrollo tecnológico que sea utilizado en el proceso de producción (Cook, 2007; FAS/USDA, 2009; AMHPAC, 2010). Bajo este contexto, la producción de hortalizas destinadas principalmente a la exportación a Estados Unidos de América (87%), Canadá (9%), Europa (2%) y el resto a otros países como Japón (Steta, 2003), demanda diferentes sustratos en el proceso de producción. Existen numerosos materiales que pueden ser utilizados como sustratos en la producción hortícola, siempre y cuando su manejo esté adaptado a los requerimientos del medio y de la planta (Abad y Noguera, 2000). En México, comercialmente se utilizan la lana de roca importada, fibra de coco nacional e importada y el “tezontle”, siendo este último altamente disponible y barato. Sin embargo, para utilizar algún material como medio de cultivo, es necesario primero determinar sus propiedades físicas debido a que si la estructura física de un sustrato es inadecuada, difícilmente podemos mejorarla una vez que se ha establecido el cultivo (Iskander, 2002). De tal manera que surge la necesidad de evaluar las propiedades físicas del sustrato como requisito previo a su utilización en la producción de tomate en hidroponía.

## OBJETIVOS

### General

- Evaluar el efecto del tamaño de partícula de “tezontle” en la producción y calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en agricultura protegida.

### Específicos

- Evaluar las propiedades físicas de los diferentes tamaños de partícula de “tezontle” mezclado con polvo y fibra de coco.
- Evaluar el efecto del tamaño de partícula de “tezontle” mezclado con polvo y fibra de coco, en la producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado en agricultura protegida
- Evaluar el efecto del tamaño de partícula de “tezontle” mezclado con polvo y fibra de coco, en la calidad de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en agricultura protegida

## **HIPÓTESIS**

### **General**

- El tamaño de partícula de “tezontle” no afecta el comportamiento de las variables respuesta del cultivo de tomate en hidroponía.

### **Específicos**

- No existen diferencias significativas entre las propiedades físicas de las diferentes mezclas de sustrato y por lo tanto, la proporción de “tezontle” con polvo y fibra de coco, no afecta la porosidad y retención de humedad.
- El tamaño de partícula de “tezontle” mezclado con polvo y fibra de coco, no afecta la producción de tomate en agricultura protegida.
- El tamaño de partícula de “tezontle” mezclado con polvo y fibra de coco, no afecta la calidad de tomate producido en agricultura protegida.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### **Cultivo sin suelo**

Es aquel sistema de cultivo en el que las plantas desarrollan su sistema radical en un medio (sólido o líquido) confinado en un espacio limitado y aislado, fuera del suelo. Los cultivos sin suelo suelen clasificarse en cultivos hidropónicos (cultivo en agua más nutrimentos o sobre materiales inertes) y cultivos en sustrato (cultivo sobre materiales químicamente activos, con capacidad de intercambio catiónico). Además, los cultivos sin suelo pueden funcionar como sistemas abiertos, a solución perdida (no recirculante), o como sistemas cerrados, con recirculación de las soluciones nutritivas (FAO, 1990).

### **Hidroponía**

La hidroponía es una tecnología para el cultivo de plantas en soluciones nutritivas (agua conteniendo fertilizantes) con o sin el uso de un medio artificial (arena, grava, vermiculita, lana de roca, perlita, turba, fibra de coco, serrín, entre otros) para proveer soporte mecánico. Esta se clasifica como sistemas abiertos (donde el exceso de solución nutritiva aplicado al cultivo se pierde y no se recupera) o cerrados (el exceso de solución es recuperado, repuesto y reciclado) (Jensen, 1997).

Comparativamente con el cultivo a campo abierto, el interés por la producción en condiciones protegidas bajo invernadero e hidroponía, obedece fundamentalmente a los altos rendimientos que se pueden obtener por unidad de superficie y mejor calidad de los productos generados protegiéndolos de factores externos como el clima y el ataque de insectos. Esto se logra porque se brindan condiciones para una mayor expresión del potencial productivo debido a un mayor control de los factores que intervienen en la producción, dentro de los cuales se encuentran, el balance de oxígeno, agua y nutrimentos, ausencia de malas hierbas, control de pH. Permite mayores densidades de población, mayor precocidad de los cultivos, mayor ahorro de agua y fertilizantes, posibilidad de usar aguas duras y/o relativamente salinas, posibilidad de obtener varios ciclos de cultivo al año en especies anuales, entre otras.

Según Sánchez (2002), en el mundo se ha desarrollado diferentes modalidades de cultivos hidropónicos a escala comercial, pudiéndose agrupar en tres categorías básicas.

**Cultivo en solución.** Se caracteriza porque no hay sustrato, por lo tanto las raíces se encuentran sumergidas total o parcialmente en la solución que tiene los elementos nutritivos, lográndose la oxigenación por diferentes mecanismos (sumergiendo parte de la raíz, burbujando oxígeno, dejando la raíz en el aire y asperjándole la solución a diferentes intervalos de tiempo). En esta categoría se encuentra la técnica de la película nutritiva (del inglés NFT) en la cual se mantiene una lámina delgada de solución en constante circulación pasando a través de las raíces para que estas tomen agua, nutrimentos y oxígeno.

**Cultivo en grava.** Incluye todas aquellas modalidades que utilizan como sustrato a las gravas comunes (4-20 mm de diámetro) y otros tales como el tezontle, piedra pómez, ladrillo quebrado, etc. En este la principal desventaja es abastecer continuamente de agua (solución nutritiva) a la raíz, requiriéndose para ello riegos muy frecuentes (3-4 veces al día) y por lo tanto demandando grandes cisternas y volúmenes de agua, además de energía.

**Cultivo en agregado.** Son aquellos sistemas de producción que utilizan sustratos de partículas pequeñas (< 3 mm de diámetro) con propiedades de retención de humedad y aireación a la raíz. Algunos sustratos empleados en esta modalidad son: perlita, vermiculita, turba de pantanos, lana de roca, espumas sintéticas, arenas, aserrín, entre otras, siendo la forma de hidroponía más practicada a escala mundial.

De acuerdo con Sánchez y Escalante (1988), el cultivo en hidroponía consta de los componentes siguientes:

**Plantas.** A pesar de que en hidroponía se puede cultivar cualquier especie vegetal, en la práctica comercial sólo se manejan cultivos de alto valor, principalmente ornamentales tanto de corte como de maceta, hortalizas y plantas medicinales. Los cereales se cultivan sólo como germinados para la producción intensiva de forraje verde.

**Solución nutritiva.** Es una disolución de diversos fertilizantes (o nutrimentos) en el agua, con la que se riegan las plantas y cuya función es proporcionar los nutrimentos requeridos por los cultivos en las proporciones adecuadas.

**Contenedores.** Son recipientes de distinto tamaño, forma y material que contienen al sustrato en el que se cultivan las plantas; también se emplean tinajas de cultivo las cuales se pueden construir de concreto, asbesto, madera, lámina de hierro galvanizado, poliéster, acrílico, ladrillo, polietileno y otros.

**Sistema de riego.** Existen diferentes tipos de riego como son: inundación, subirrigación, aspersión, goteo, capilaridad y atomización de las raíces. Siendo más frecuentemente usado el sistema de riego por goteo.

### **Sustratos**

El término *sustrato* se aplica en horticultura a todo material sólido distinto del suelo *in situ*, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, que colocado en un contenedor en forma *pura* o en *mezcla* permite el anclaje del sistema radical, desempeñando por tanto, un papel de soporte para la planta (Abad *et al.*, 2004).

El objetivo de este componente es sustituir al suelo, proporcionando a las plantas condiciones para su soporte. Existe una gran variedad de materiales que se pueden emplear, entre los más comunes se encuentran: arena, grava, tezontle, confitillo, ladrillos quebrados, perlita, vermiculita, turba, aserrín, resinas sintéticas (poliuretano), cascarilla de arroz, carbón, los cuales se emplean *puros* o en *mezcla*. Para que un sustrato sea utilizado, primero es necesario caracterizarlo con el propósito de conocer sus propiedades físicas, físico-químicas y biológicas, ya que estos factores determinarán el manejo posterior durante el desarrollo de las plantas (Ezquivel, 2001; Terés, 2001).

### **Propiedades físicas de los sustratos**

Las propiedades físicas son consideradas como las más importantes para un sustrato. Esto es debido a que si la estructura física de un sustrato es inadecuada, difícilmente podremos mejorarla

una vez que se ha establecido el cultivo. En cambio las propiedades químicas si pueden ser alteradas posterior al establecimiento del cultivo. Por ejemplo, si un sustrato no posee un pH o el nivel nutricional adecuado, estos pueden mejorarse añadiendo enmiendas o abonos. Similarmente un exceso de sales solubles puede remediarse con un lavado con agua de baja salinidad (Iskander, 2002).

Para De Boodt y Verdonck (1972), la caracterización del medio de crecimiento de las raíces empieza con la distribución de fases. Esto es el porcentaje de volumen de material sólido y el volumen de agua y aire en los sustratos a diferentes condiciones de humedad. Sin embargo para conocer estas tres fases en los sustratos, es necesario conocer sus propiedades físicas.

Dentro de las propiedades físicas que se necesitan determinar para caracterizar un sustrato se encuentran: densidad aparente, raramente densidad real, granulometría, porosidad total, porosidad de aireación, relaciones agua-aire (agua fácilmente disponible, agua de reserva y agua difícilmente disponible) (Díaz 2004), adicional a estos, la mojabilidad y contracción de volumen de los sustratos son también importantes (Abad *et al.*, 2004).

### **Densidad Aparente**

Se define como la relación entre el peso seco y el volumen aparente ocupado por el sustrato (De Boodt y de Waele, 1968). Según Díaz (2004), esta propiedad se puede cuantificar en el mismo contenedor que se vaya a ocupar para el crecimiento de las plantas. Se pesa el contenedor vacío de un volumen conocido, se llena de sustrato hasta la marca del volumen conocido y se pesa en seco, se humedece hasta saturación y se deja drenar, el volumen considerado es del sustrato húmedo y drenado. Al peso total se le resta el peso del contenedor y se divide entre su volumen, esto equivale  $d = m/v$ , siendo  $d$  densidad,  $m$  masa y  $v$  volumen, respectivamente. Existen métodos específicos de laboratorio que siguen el mismo principio.

La densidad aparente se encuentra inversamente relacionada con la porosidad de un material; a mayor densidad, se tendrá menor espacio poroso y viceversa (Bunt, 1983).



## **Densidad Real**

Según (Díaz, 2004), es el peso del sustrato entre el volumen que realmente ocupa la parte sólida, es decir el peso del sustrato sin tomar en cuenta el volumen de poros que existe dentro y entre las partículas del sustrato y entre el sustrato y las paredes del contenedor. Para determinar este parámetro, De Boodt y de Waele (1968) utiliza el método del Picnómetro. Este consiste en pesar exactamente una cantidad determinada de sustrato en un recipiente con enrase a un volumen conocido (normalmente 100 mL), se añade agua destilada hasta saturar el sustrato (con lo que todos los poros se llenan de agua) y se enrasa a volumen. Por diferencia de pesada se calcula el volumen de agua añadida; la diferencia hasta 100 será el volumen real del sustrato. Entonces el cociente entre el peso de sustrato y su volumen nos proporciona la densidad real (Ansorena 1994).

No obstante, De Boodt *et al.* (1974), señalan valores constantes de densidad real de  $1.45 \text{ g cm}^{-3}$  y  $2.65$  para sustratos orgánicos y sustratos inorgánicos respectivamente. Mientras que Ansorena (1994) menciona que para sustancias minerales, la densidad real suele ser próxima a la del cuarzo ( $2.65 \text{ g cm}^{-3}$ ) y para los compuestos orgánicos se toma el valor medio de  $1.5 \text{ g cm}^{-3}$ .

## **Granulometría**

Se refiere a la determinación de la distribución de tamaños de las partículas que conforman un sustrato. La granulometría de un material puede caracterizarse fácilmente por medio del tamizado de una muestra secada al aire o en estufa, recolectando cada una de las fracciones retenidas en cada tamiz y cuantificando su peso. Cada una de las fracciones se expresa con base en porcentaje en relación con el peso inicial (Díaz, 2004).

De acuerdo con Ansorena (1994), las propiedades físicas de los sustratos dependen en gran medida de la distribución de tamaños de partícula. De esta manera, la porosidad aumenta a medida que lo hace el tamaño medio de partícula. Por el contrario, la presencia de partículas muy pequeñas hace que disminuya la porosidad total y aumente la cantidad de agua retenida, ya que crece el número de microporos o huecos pequeños, que son los que retienen el agua. Así mismo se reducirá la porosidad ocupada por aire al disminuir el volumen de huecos entre partículas (macroporos) que son los de mayor tamaño.

Del mismo modo Abad *et al.*, (2004), señalan que el tamaño de partículas también afecta el crecimiento de la planta a través del tamaño de los poros. La distribución del tamaño de las partículas y de los poros determina el balance entre el contenido en agua y en aire del sustrato, a cualquier nivel de humedad. Ellos definen “El Mejor Sustrato” como aquel material de tamaño de partícula media a gruesa, con una distribución del tamaño de los poros entre 30 y 300  $\mu\text{m}$ , que retienen suficiente agua fácilmente disponible y posee, además, un adecuado contenido de aire. Por lo tanto la distribución del tamaño de las partículas de los sustratos se expresa frecuentemente a través del índice de grosor. Este se define como el porcentaje acumulado (en peso o en volumen) de partículas con diámetro superior a 1 mm, y suele estar bien correlacionado con las características hidrofísicas del sustrato.

### **Porosidad Total**

Es el volumen total del sustrato de cultivo no ocupado por las partículas sólidas orgánicas o minerales, siendo su valor óptimo  $>85\%$  del volumen total (Abad *et al.*, 2004), mientras que Cabrera (1999), menciona que el valor óptimo se encuentra entre 70 y 85% en base a volumen.

Generalmente los sustratos tienen dos tipos de porosidad: interna y externa. La porosidad externa es la que se genera por el acomodo de las partículas y depende de la forma, el tamaño y la naturaleza de las partículas. La porosidad interna puede estar abierta o cerrada y ésta depende de la naturaleza y origen del material. Los poros abiertos son los que tienen conexión con el sistema de poros externos, también denominados poros percolantes. Los poros cerrados o no percolantes son los que no tienen conexión con el sistema de poros externos. De esta manera, la porosidad efectiva es la porosidad percolante, abierta o interconectada, que es la que contribuye a la retención y movimiento del agua en el sustrato (Burés 1997).

Abad *et al.* (2004), dividen a los poros existentes en un sustrato en dos: (1) poros capilares ( $<30 \mu\text{m}$ ) que son los que retienen el agua; y (2) macroporos ( $>30 \mu\text{m}$ ) que son los que se vacían después que el sustrato ha drenado, permitiendo así la aireación. Sin embargo, los poros no drenan completamente y una película fina de agua es retenida alrededor de las partículas del sustrato. Esta película de agua disminuye en espesor a medida que el medio se seca.

Díaz (2004), señala que la porosidad total puede determinarse a través de su medida directa en el contenedor con sustrato, saturándolo con agua. El volumen de agua utilizado para saturarlo equivale a la porosidad total

**Espacio poroso total.** Es el espacio de aire y agua formado por la suma de agua difícilmente disponible, agua de reserva, agua fácilmente disponible y capacidad de aireación; (Bures, 1997)

### **Relaciones agua-aire**

Las metodologías actuales definen distintos parámetros para describir la distribución de aire y agua en el medio poroso (Terés, 2001).

Los métodos para la determinación de las relaciones aire-agua de los sustratos difieren de los métodos utilizados en suelos con el mismo objetivo. Las curvas de retención de agua de los suelos agrícolas se miden usualmente en un amplio intervalo de succión (0 a 1500 kPa) (Abad *et al.*, 2004). En la ciencia del suelo esta propiedad se obtiene determinando la *curva pF* o *curva de tensión de humedad* (De Boodt y Verdonck, 1972), donde los puntos representativos determinando esta curva son: el contenido de humedad a tensión cero o a saturación completa, a capacidad de campo ( $1/3 \text{ atm} \approx 33.7 \text{ kPa}$ ) y a punto de marchitamiento permanente ( $15 \text{ atm} \approx 1519.5 \text{ kPa}$ ).

No obstante debido a la alta tensión donde el agua se encuentra aprovechable por las plantas en condiciones de suelo, en sustratos (indicado como plantas en contenedor) De Boodt y Verdonck (1972) señalan que nunca puede subir a estas tensiones sin causar pérdidas severas en la tasa de crecimiento. Así cuando el sustrato está más seco, mayor es la fuerza de retención del agua a las partículas, de tal forma que esta fuerza tiene que ser superada por la succión de la raíz para que la planta tome el agua del sustrato; entonces una parte de la energía de la planta es empleada, la cual podría haber servido para producir materia seca. Consecuentemente, el agua en el sustrato debe estar disponible a un estatus de energía tan bajo como sea posible considerando que al mismo tiempo aquí debe haber suficiente aire disponible en los poros de la zona de la raíz. Las dos condiciones son en esencia contradictorias, el aire está ausente en un poro dado cuando el agua está presente en todo, y viceversa. Por lo tanto los poros deben estar parcialmente llenos.

De esta manera, De Boodt y Verdonck (1972) y De Boodt *et al.* (1974) relacionan el porcentaje de volumen de agua y aire con la tensión de humedad, obteniendo una curva de retención y liberación de agua como se indica en seguida.

Esta curva se traza empleando cuatro puntos principales que son el contenido de humedad a 0, 10, 50 y 100 cm de columna agua. A partir de esta curva, De Boodt y Verdonck (1972) y De Boodt *et al.* (1974) definen los siguientes parámetros:

**Capacidad de aireación o volumen de aire.** Se define como el volumen de aire que queda en el sustrato después de que este ha sido saturado y drenado (10 cm de columna de agua  $\approx$  1 kPa) equivalente a *capacidad de contenedor*. Este volumen de aire equivale al volumen de agua desplazado cuando se aplica una succión equivalente a una succión que ejerce una columna de agua de 10 cm de altura.

El volumen de aire aumenta conforme disminuye el volumen de agua. Según de Verdonck *et al.*, (1974), para el crecimiento óptimo de las plantas, se debe evitar que se tenga mucha agua o mucho aire en el sustrato, de tal forma que debe haber un equilibrio es decir una relación de volumen de agua sobre volumen de aire igual a 1. Cabrera (1999), señala un valor óptimo entre 10 y 20% en base a volumen; mientras que para Abad *et al.*, (2004) el valor óptimo se encuentra entre 20 y 30% de volumen.

**Agua fácilmente disponible.** Es la cantidad de agua liberada del material estudiado cuando la succión se incrementa de 10 a 50 cm de columna de agua (10-50 cm de columna de agua  $\approx$  1 – 5 kPa). En un buen sustrato este rango representa el 75-90% de la cantidad total de agua disponible. De Boodt (1965), señala que para el crecimiento óptimo de las plantas en el sustrato, debe haber 20 – 30% de agua fácilmente disponible; lo cual coincide con Abad *et al.*, (2004); mientras que para Cabrera (1999) el valor óptimo deber ser  $\geq$ 30% en base a volumen.

**Agua de reserva.** Es el porcentaje en volumen de agua liberada entre 50 y 100 cm de columna de tensión de agua sobre el sustrato (50 – 100 cm de columna de agua  $\approx$  5 – 10 kPa). Abad *et al.*, (2004), señalan que el valor óptimo para este parámetro está entre 4 y 10% con base en volumen.

**Agua difícilmente disponible.** Es el porcentaje en volumen de agua que queda retenida en el sustrato a tensiones superiores de 100 cm (1 m) de columna de agua (>100 cm de columna de agua >10 kPa). Este tipo de agua no es aprovechada por la planta.

**Material sólido.** Es el porcentaje en volumen ocupado por la materia sólida del sustrato.

### **Mojabilidad**

Algunos materiales orgánicos presentan dificultades tanto para ser humedecidos inicialmente como para ser rehumectados una vez que se han secado en el contenedor, lo que puede provocar un retraso y una reducción en el crecimiento de la planta. Las dificultades para mojar un sustrato se atribuyen generalmente a dos causas: la hidrofobicidad del material y a la contracción que experimenta al secarse.

La mojabilidad se expresa como el tiempo (en minutos) necesario para que una muestra de sustrato seco a 40 °C absorba 10 ml de agua destilada. El nivel óptimo es igual o inferior a 5 minutos (Abad *et al.*, 2004).

### **Contracción de volumen**

Se refiere al porcentaje de pérdida de volumen que experimenta el sustrato cuando se seca (generalmente a 105 °C), referido al volumen aparente inicial en unas determinadas condiciones de humedad (generalmente saturación y drenaje posterior a 10 cm de tensión de columna de agua). Este parámetro informa sobre el grado de variación del volumen del sustrato bajo condiciones de cultivo, en ciclos de humectación-desección. El nivel máximo admisible es 30 % (Abad *et al.*, 2004).

### **Propiedades físico-químicas.**

Las principales propiedades físico-químicas y químicas que se deben determinar en un sustrato son: pH, conductividad eléctrica, capacidad de amortiguamiento (capacidad tampón), capacidad de intercambio catiónico (CIC), nutrientes disponibles en la solución, elementos pesados y compuestos fitotóxicos (Terés, 2001; Díaz, 2004).

El pH, la conductividad eléctrica, los nutrientes disponibles en la solución y los elementos pesados se pueden determinar en el extracto de saturación. El pH de un sustrato se prefiere que sea ligeramente ácido (5.5-6.5) y la conductividad eléctrica que no sea mayor de  $2.0 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ .

La capacidad de amortiguamiento se realiza a través de la curva de neutralización; si el sustrato presenta un pH muy ácido, se van adicionando volúmenes conocidos de una base diluida, hasta alcanzar el pH deseado; si el sustrato tiene un pH alcalino, se adicionan volúmenes conocidos de un ácido diluido, hasta el punto deseado. Con base en esta curva se determina el tipo de corrector y la cantidad del mismo para mantener un pH adecuado.

La capacidad de intercambio catiónico se determina generalmente con el método del acetato de amonio al pH que se desea que el sustrato permanezca durante el desarrollo del cultivo. Siendo sugerido un valor de  $>20 \text{ Cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ , sin embargo se prefieren sustratos inertes o muy poco activos.

Algunos sustratos orgánicos contienen sustancias fitotóxicas como es el caso de la fibra de coco en ocasiones contiene altas concentraciones de compuestos fenólicos inhibiendo el crecimiento de las plantas.

### **Propiedades biológicas**

Según Díaz (2004), la bioestabilidad permite saber si un sustrato orgánico permanece sin alterar o con poca alteración durante el ciclo de cultivo. Para conocer si un material ha sufrido alteración biológica se cuantifica el contenido de materia orgánica inicial y después de un tiempo, se estima el grado de descomposición del material utilizado; otra propiedad biológica importante es la sanidad del sustrato, esto es, si un sustrato es estéril o es necesario esterilizarlo ya que algunos sustratos contienen patógenos.

### **Sustratos de acuerdo a su origen**

Los materiales se han clasificado tradicionalmente de modo muy diverso. Siendo uno de los más frecuentes, el señalado por Burés (1997) en orgánicos e inorgánicos.

## **Materiales inorgánicos**

Estos se subdividen en dos categorías: materiales de origen natural y materiales alterados. Los sustratos inorgánicos se obtienen de rocas o minerales de distinto origen (ígneo, metamórfico o sedimentario). Estos materiales pueden modificarse ligeramente sin alterar la estructura interna del material, mediante tamizado o fragmentación o bien pueden formarse mediante procesos físicos (térmicos) o químicos que transforman las propiedades intrínsecas del material original. Las transformaciones pueden ser resultante de actividades como la minería o bien pueden ser realizados *ex profeso* para obtener materiales de características particulares, por ejemplo: perlitas expandidas, vermiculitas exfoliadas, entre otros.

### **Tezontle**

El “tezontle” es un sustrato mineral de origen volcánico. Es uno de los sustratos más utilizados en los cultivos sin suelo en México, pero también es uno de los menos conocidos en cuanto a sus características físicas y químicas. En este sentido, Castellanos y Vargas-Tapia (2003) reportan la caracterización física del “tezontle negro” (**Cuadro 1**).

**Cuadro 1.** Caracterización física del “tezontle negro” (Castellanos y Vargas-Tapia, 2003).

Granulometría (mm)	Da (g cm <sup>-3</sup> )	CA (%)	RH (%)	EPT (%)
<0.58	0.93	12	50	63
0.58-2.00	0.57	31	36	77
2.00-5.08	0.49	46	22	64
>12.7	0.52	43	37	65

Abreviaciones: Da, densidad aparente; CA, capacidad de aireación; RH, retención de humedad; EPT, Espacio Poroso Total.

Martínez (2007), encontró en las propiedades físicas del “tezontle rojo” empleado por productores de la región centro de México, valores muy distantes (**Cuadro 2**) de los óptimos señalados por Abad *et al.*, (2004); lo cual puede ser porque el sustrato, no se selecciona adecuadamente. De tal manera que este presenta resultados bajos en: espacio poroso total, capacidad de aireación, porcentaje de agua fácilmente disponible; y una alta retención de humedad, pudiendo ocasionar anoxia en la rizósfera de las plantas.

**Cuadro 2.** Características físicas evaluadas en “tezontle rojo” (Martínez, 2007).

<b>Parámetro</b>	<b>Valor determinado</b>
Índice granulométrico (% peso)	44.65
Partículas 0.25-2.0 mm (%)	74.52
Densidad aparente (g cm <sup>-3</sup> )	1.27
Densidad real (g cm <sup>-3</sup> )	2.65
Espacio poroso total (%)	45.30
Capacidad de aireación (%)	5.14
Capacidad de retención de humedad (%)	40.16
Agua fácilmente disponible (%)	2.86
Agua de reserva (%)	-1.0

### **Materiales orgánicos**

Existen materiales de origen natural y de síntesis. Los materiales de origen natural están sujetos a la descomposición biológica y pueden ser utilizados como sustratos después de sufrir una serie de procesos biológicos de transformación artificial como es el compostaje (caso de las turbas). Los materiales orgánicos de síntesis son polímeros orgánicos biodegradables que se suelen obtener mediante procesos químicos, tal es el caso del poliestireno o las espumas de poliuretano, que por sus características muchas veces se clasifican erróneamente como inorgánicos.

### **Fibra y polvo de coco**

Es un subproducto de la industrialización del coco, el cual tiene características químicas, biológicas y físicas adecuadas para ser usado como sustrato de cultivo en macetas y charolas. Dentro de las propiedades físicas destacan: la porosidad total mayor a 93%; alta capacidad de retención de humedad; y baja densidad aparente (García *et al.*, 2001; Baixauli y Aguilar, 2002).

### **Materiales mixtos**

Este grupo comprende minerales de diversas industrias, como los residuos orgánicos de origen diverso según el proceso industrial o agro-industrial. En este último, se encuentra el bagazo de caña, la fibra del agave durante el proceso de obtención del tequila y la cáscara de almendra como sustrato (Martínez *et al.*, 2009)



## **Importancia del tomate**

El incremento constante de la población mundial genera necesidades alimenticias en un medio ambiente donde los recursos son cada vez más escasos y problemáticos. La necesidad de alimentos, la escasez de recursos naturales y el problema de su gestión para satisfacer esas necesidades, nos obligan a buscar alternativas sostenibles de carácter técnico y financieramente viables, que generen beneficios para quienes se dediquen a la noble tarea de producir alimentos. Así, en un mundo cada vez más poblado, con menor superficie disponible para la agricultura, con suelos degradados, con problemas de escasez de agua y contaminación, en un entorno de fuertes alteraciones climáticas, es que la producción de alimentos con agricultura protegida, dadas sus características especiales de alta producción por unidad de superficie y control de buena parte de los factores adversos, representa una de las opciones que posibilita solventar la paradoja del crecimiento poblacional y su necesidad siempre creciente de alimentos (FIRA, 2010a).

Dentro del grupo de las hortalizas, el tomate es un cultivo muy dinámico por la creciente demanda de la población de todo el mundo. La producción mundial de tomate ha sido calculada en 110 millones de toneladas en una superficie aproximada de 4.2 millones de hectáreas (FAO, 2003). Así mismo, en 2008, la producción de esta hortaliza, se ubicó en 129.6 millones de toneladas (FIRA, 2010b).

El comercio global de tomates y sus derivados ha alcanzado los USDA \$ 4.2 billones, lo cual representó un 33% de incremento de 1991 al 2001, de acuerdo con datos del Servicio Exterior de Agricultura del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (por sus siglas en inglés FAS/USDA, 2003). Mientras que en los últimos 5 años, el comercio de este producto ha crecido 8% anual, rematando en 2.4 millones de toneladas en el año 2007 (FAS/USDA, 2008).

Dentro de los países importadores por excelencia, destaca los Estados Unidos de América (USA), el mercado más grande del mundo con un poco más de 1 millón de toneladas de importación anual, donde México es el principal exportador de tomate representando casi la mitad de las exportaciones mundiales, con destino principal USA (FAS/USDA, 2008; FIRA, 2010b). Así mismo, es en este ámbito de la producción agrícola nacional donde México presenta ventajas comparativas con el resto de los países exportadores, además de ser una fuente de

divisas para el país, por lo que su cultivo depende significativamente del comportamiento de este mercado (Hernández-Martínez *et al.*, 2004).

### **Producción mundial de tomate**

Con respecto a la distribución de la producción mundial de tomate, por países, en orden de importancia sobresalen la participación de China, Estados Unidos de América, Turquía, India, Egipto, Italia, Irán España, Brasil y México (**Cuadro 3**) en el periodo comprendido de 2000 a 2008, aportando alrededor del 70% de la producción total de tomate tanto para consumo en fresco como para la industria del proceso de acuerdo a las estadísticas de la FAO y FIRA (2010b). Durante este mismo periodo, países como Turquía, India, Egipto, Italia, Irán, España y Brasil, mostraron variación en su producción, mientras que México se mantuvo constante en el décimo lugar dentro de los 10 principales productores de esta hortaliza.

### **Producción nacional de tomate**

De acuerdo con datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), dentro del periodo 2000 al 2009, se tuvo en México una reducción del 30% de la superficie sembrada con tomate, registrando la mayor superficie (76,687.80 ha) en el 2001, en tanto que en el 2009 se tuvo la menor con 53,572.62 ha cultivadas con esta hortaliza.

**Cuadro 3.** Comportamiento de la producción mundial de tomate con estadísticas de la FAO

Posición	País	Producción anual (toneladas)								
		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
1	China	22324767	24116211	27153121	28842743	30143929	31618462	32519315	33596881	33911702
2	Estados Unidos de América	12622261	10958809	13466501	11423794	13987702	11918268	12257172	14185180	13718171
3	Turquía	8890000	8425000	9450000	9820000	9440000	10050000	9854877	9945043*	10985355
4	India	7430000*	7240000	7462300	7616700	8125600	8825400	9820400	10055000*	10303000
5	Egipto	6785640*	6328720*	6777875	7140198	7640818*	7600000	8576070	8639024	9204097
6	Italia	7538100*	6387889*	5750041	6651505	7683071*	7187014	6351202	6530162	5976912
7	Irán (República Islámica)	3190999*	3009454*	4109000	4429426	4022878*	4781018*	5064571	5534266	4826396
8	España	3766328*	3971691*	3979718	3947327	4383202*	4810301*	3800552	4081477	3922500
9	Brasil	2982840	3103290*	3652920	3708600	3515567	3452973	3362655	3431230	3867655
10	México	2666280	2737640	2573372	2897377	3037265	2800115	2899153	3150353	2936773

\*Variación según la cifra. Fuente: elaboración propia con datos de la FAO. [www.faostat.fao.org/site/339/default.aspx](http://www.faostat.fao.org/site/339/default.aspx). Consulta: 04/01/2011.

Por otro lado, el volumen de producción muestra una tendencia hacia el incremento el cual relaciona este efecto con un aumento gradual de la producción en agricultura protegida (invernaderos y casas sombra) con este cultivo. Del mismo modo, el rendimiento dentro de este mismo periodo, indica un incremento gradual pasando de 27 a 40 t ha<sup>-1</sup>, lo cual alude a la innovación tecnológica de producción e impacta inmediatamente en el productor haciendo del tomate un cultivo más rentable. Así mismo, el precio medio rural ha aumentado de \$3,836.10 a \$5,985.58 por cada tonelada vendida en el lugar de producción, todo lo cual genera una gran derrama económica en las principales zonas productoras (**Cuadro 4**). De acuerdo al Censo Agropecuario del 2007, en base al volumen de producción en el contexto nacional en este año el tomate fue la principal hortaliza cultivada y ocupó el 7° lugar de los principales cultivos producidos (**Cuadro 5**).

**Cuadro 4.** Producción nacional de tomate del año 2000 al 2009.

Año	Superficie Sembrada (ha)	Superficie Cosechada (ha)	Producción (t)	Rendimiento (t ha <sup>-1</sup> )	PMR (pesos t <sup>-1</sup> )	Valor Producción (Miles de pesos)
2000	75,899	74,629	2,086,030	28.0	3,836	8,002,226
2001	76,688	74,451	2,149,932	28.9	3,048	6,552,432
2002	69,814	67,360	1,989,979	29.5	3,124	6,216,529
2003	70,390	67,644	2,171,159	32.1	4,226	9,175,721
2004	75,605	71,498	2,314,630	32.4	6,210	14,374,884
2005	74,355	71,086	2,246,246	31.6	4,414	9,914,273
2006	66,509	63,954	2,093,432	32.7	5,882	12,314,414
2007	66,635	64,779	2,425,403	37.4	4,753	11,527,680
2008	57,248	55,942	2,263,202	40.5	5,611	12,699,613
2009	53,573	52,384	2,043,815	39.0	5,986	12,233,406

Fuente: elaboración propia con datos del SIAP ([www.siap.gob.mx/](http://www.siap.gob.mx/)) Consulta: 05/01/2011.

### **Producción de tomate en agricultura protegida**

De acuerdo con los datos del Censo Agropecuario, la superficie de cultivo representa 15.4% del territorio nacional. Esto es, de las 195.9 millones de hectáreas con que México cuenta,

únicamente 30.2 millones se destinan a la producción agrícola y de esta superficie, solo 12,540.1 ha de agricultura protegida (FIRA, 2009), los cuales están dedicados a la producción de hortalizas, plantas ornamentales y frutillas.

**Cuadro 5.** Volumen de producción de los principales cultivos en 2007.

Producto	Producción (t)	Producto	Producción (t)
Caña de azúcar	52 089 356	Aguacate	1 142 892
Maíz	23 512 752	Frijol	993 953
Plátano	19 645 452	Cebada	653 075
Sorgo	6 202 920	Manzana	505 078
Naranja	4 233 538	Uva	356 258
Trigo	3 515 392	Arroz	294 697
Jitomate	2 425 403	Durazno	192 261
Limón	1 922 592	Fresa	176 396
Chile verde	1 883 983	Cártamo	113 334
Papa	1 750 797	soya	88 371
Mango	1 643 355	Ajonjolí	29 045
Café cereza	1 427 332		

Fuente: Censo Agropecuario 2007.

En el interior del país, la superficie de agricultura protegida se distribuye principalmente en los estados de Sinaloa, Baja California Norte, Estado de México y Jalisco, contribuyendo con el 65% de la superficie total y el 35% restante, distribuido en los demás estados (SAGARPA 2009).

De acuerdo con la Asociación Mexicana de Horticultura Protegida A.C (AMHPAC, 2010), actualmente la superficie de invernadero en México sigue creciendo, donde los tomates de invernadero representan entre el 8 y 12% del volumen total de esta hortaliza con aproximadamente 3200 ha distribuidas en todo el país (Cook, 2007; FAS/USDA, 2009) con rendimientos que pueden variar de 150 a 200 t ha<sup>-1</sup>, dependiendo del grado de desarrollo tecnológico que sea utilizado en el proceso de producción.

Resultan interesantes las apremiantes evidentes de la producción agrícola en agricultura protegida, considerando lo siguiente: con una superficie de 12,540 ha en esta forma de cultivo y un requerimiento entre 7 y 8 personas por cada hectárea, se generan entre 87,780 y 100,320 empleos (adaptado de Castellanos y Borbón, 2009); así mismo, ha contribuido con un aumento del 6.6% al 31.5% del volumen de exportación y del 10.5% al 49% del valor de exportación, durante el periodo de 2003 al 2008 y la consecuente generación de divisas para el país (AMHPAC, 2010). De tal manera que la falta de control climático en la agricultura a campo abierto es un serio problema que genera la necesidad de dar un especial impulso a la innovación tecnológica en el proceso de producción agrícola con un enfoque de mercado.

### **Consumo de tomate *per cápita* mundial y nacional**

El consumo mundial de tomate *per cápita* de derivados de tomate ha crecido a una tasa de 2.2% anual entre 1976 y 1989. Este incremento está relacionado con el aumento de las comidas fuera del hogar, en particular el desarrollo de los “Fast Food”, así como con la difusión de la comida italiana en todo el mundo, como las pastas y pizzas. Sin embargo, existen diferencias muy significativas entre países, influenciadas por las costumbres y hábitos alimentarios. Así, mientras Grecia, Egipto, Turquía, Italia, España y USA consumen 107, 93, 85, 69, 53 y 37 kg hab<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup> respectivamente, la India apenas registra 0.1 kg hab<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>, siendo el promedio mundial de 5.6 kg en el año 1989, 1990 y de 17.2 kg reportado por FIRA en el año 2010 (Ghezan, 1999; y FIRA 2010b).

Llama la atención el consumo de la población estadounidense, ya que son el principal mercado de las exportaciones mexicanas, donde Macías (2003) a principios del 2000 señala un consumo promedio de 35 kg hab<sup>-1</sup> año<sup>-1</sup>. No obstante, actualmente se tiene una tendencia a la alza en el consumo *per cápita* de 5.7, 5.5, 5.8, 7, 8 y 8.5 kg de tomate fresco para los años 1960, 1970, 1980, 1990, 2000 y 2005, respectivamente. Durante este mismo periodo el consumo *per cápita* de tomate procesado fue de 20.4 kg en 1960 y 32.2 kg en el 2005 (Benton Jones, 2008).

Por otro lado, los países latinoamericanos presentan un consumo de tomate relativamente bajo, especialmente en Perú, Colombia, Brasil, México y Argentina, donde el consumo *per cápita* se ubica por debajo de los 20 kg (FIRA 2010b).

En México se consume alrededor del 60% de la producción nacional más las importaciones, lo cual, constituye un excelente amortiguador de mercado cuando las exportaciones enfrentan dificultades por razones fitosanitarias o políticas. En este sentido, el resultado del balance producción, exportación e importación, muestra variaciones importantes, así, tenemos que mientras en el año de 1989 el consumo alcanzó la cifra de 18.604 kg por habitante, durante los años siguientes bajó hasta los 11.064 kg en el 94, mientras que en 1996 fue de 14.30 kg y en 1997 se estimó en alrededor de 13 kg por habitante (ASERCA, 1998), manteniéndose constante en el periodo comprendido de 2004 a 2008 (**Cuadro 6**) (FIRA 2010a).

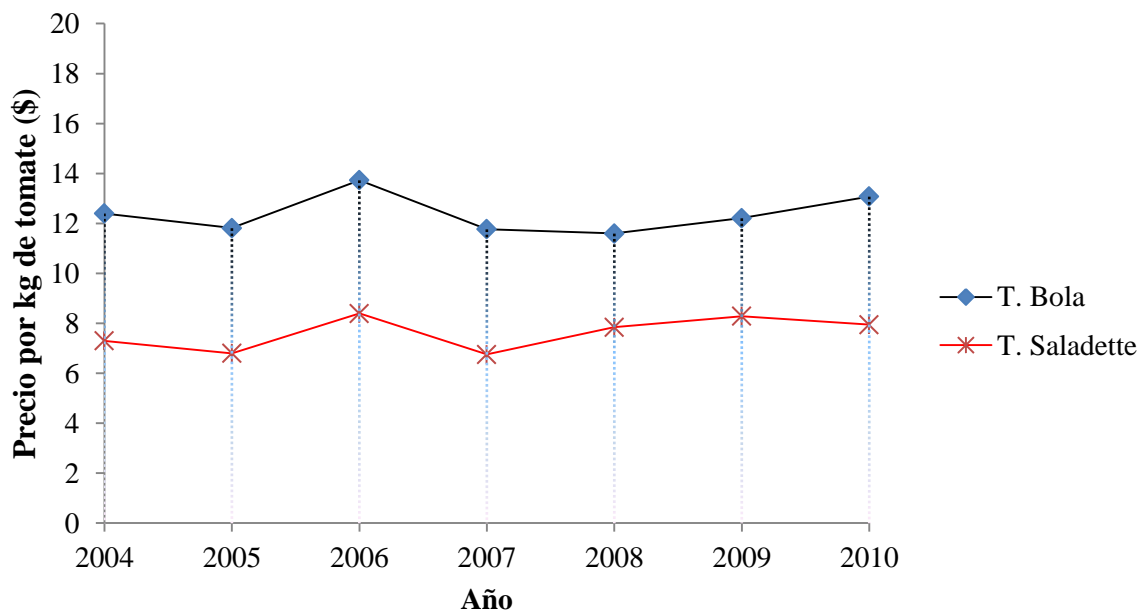
**Cuadro 6.** Consumo *per cápita* nacional de tomate.

Año	Consumo <i>per cápita</i> (kg año <sup>-1</sup> )
2004	14.3
2005	13.1
2006	10.4
2007	13.2
2008	13.1

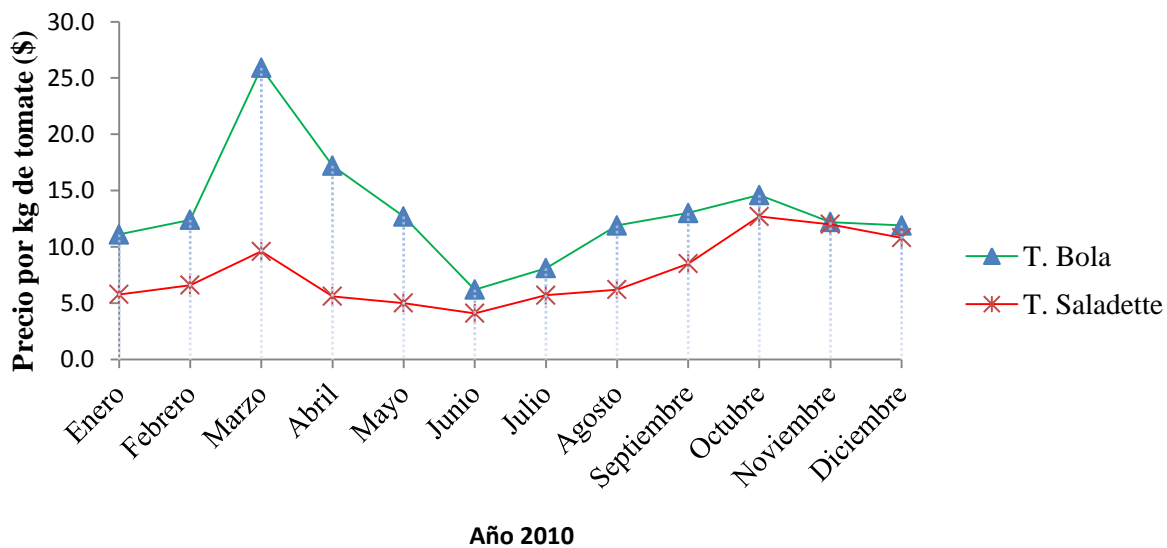
Fuente: FIRA (2010a).

### **Precio del tomate**

En el periodo comprendido 2004 a 2010, la Secretaría de Economía a través del Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (SNIIM) señaló una variación en el precio promedio anual de tomate de primera, siendo mayor (\$12.0 a \$13.0 kg<sup>-1</sup>) en el tipo bola y mucho menor en el tomate saladette (\$7.0 a \$8.0 kg<sup>-1</sup>), ambos comercializados en la Central de Abastos de la Ciudad de México (**Figura 1**). Sin embargo, a lo largo del año se aprecia una gran variación, con los mayores precios obtenidos durante los meses de agosto a mayo, con un mínimo de \$11.9 kg<sup>-1</sup> en agosto y un máximo de \$25.9 kg<sup>-1</sup> en marzo en el tipo bola mientras que en el saladette, los mayores precios se obtienen de agosto a marzo, con un mínimo en marzo de \$6.0 kg<sup>-1</sup> y un máximo en octubre de \$12.7 kg<sup>-1</sup> (**Figura 2**).



**Figura 1.** Precio promedio Anual de tomate en la Central de Abastos de la Ciudad de México.  
 Fuente: SNIIM ([www.economia-sniim.gob.mx/Nuevo/](http://www.economia-sniim.gob.mx/Nuevo/)). Consulta 10/01/2011.



**Figura 2.** Precio medio mensual de tomate en la Central de Abastos de la Ciudad de México.  
 Fuente: SNIIM ([www.economia-sniim.gob.mx/Nuevo/](http://www.economia-sniim.gob.mx/Nuevo/)). Consulta: 10/01/2011.



## **Origen del tomate**

Se han propuesto dos hipótesis para el origen de domesticación del tomate cultivado. Alfonso De Candolle en 1885 utilizó las pruebas lingüísticas de “mala peruviana” (manzana peruana) para sugerir el origen peruano. También consideró el tipo “ceraciforme” el tomate cereza como el ancestro del tomate que se dispersó en todo el mundo, pero investigaciones genéticas recientes han comprobado que los tipos “ceraciforme” son producto de una mezcla de especies silvestres y tomates cultivados en vez de ser ancestros de los cultivares (Nesbitt y Tanksley, 2002).

Jenkins (1948) propuso México como origen de domesticación, también basado en la evidencia lingüística, pero sin dejar claro como la planta conocida como “tomatl” de México se refería a los tomates ó al tomate de cáscara (*Physalis* sp.), mientras que el jitomate alude a las variedades con frutos grandes; si bien Jenkins estuvo de acuerdo con De Candolle (1885) de que *S. lycopersicum* de Sudamérica fue el progenitor de los tomates cultivados, pero discrepó con el lugar de domesticación atribuida a Perú.

La colección natural más prolífica de especies de *Eriopersicon* es encontrado en la franja de la costa de Sudamérica extendiéndose desde Perú hasta el norte de Chile e Islas Galápagos, Ecuador, creciendo a una altitud desde 2 hasta 3000 m (Rick, 1977)

De acuerdo con Jenkins (1948), aunque la distribución natural del subgénero del tomate cultivado es difícil seguir, la evidencia de la diversidad de tipos cultivados y usos culinarios y abundancia de los nombres nativos del fruto, sugieren que la domesticación original tomó lugar en México; y probablemente la selección a través de muchas generaciones, la especie *S. lycopersicum* ha incrementado gradualmente en tamaño, peso y cantidad de semillas del fruto.

## **Clasificación taxonómica**

Linnaeus (1753) fue el primer taxónomo en clasificar al tomate cultivado dentro del género *Solanum* y bajo el nombre *Solanum lycopersicum* agrupó todas las formas multiloculares cultivadas conocidas hasta esa época. Un año después Miller (1754) describió al tomate dentro del género *Lycopersicon* y esta clasificación continuó por muchos años de ahí que los textos refieren a esta especie como *Lycopersicon esculentum* Mill. No obstante, fue hasta el siglo XX

cuando se realizaron estudios taxonómicos más completos, los cuales ubican al tomate y sus especies silvestres dentro del género *Lycopersicon* (Muller, 1940; Luckwill, 1943).

Muller (1940) dividió el género *Lycopersicon* en dos subgéneros y los denominó *Eulycopersicon* y *Eriopersicon*. En el primero agrupó las especies de frutos rojos en estado maduro: *L. pimpinellifolium* y *L. esculentum* (f. pyriforme y var. cerasiforme); y en el segundo agrupó las especies de frutos verdes: *L. cheesmanii*, *L. peruvianum*, *L. hirsutum* y *L. glandulosum*. Del mismo modo Luckwill (1943), retoma esta clasificación pero adiciona la especie *L. pissisi* al subgénero *Eriopersicon*. Mientras que Rick (1979) propuso una clasificación basada en la autocompatibilidad de las cruces, agrupó nueve especies silvestres de tomate en los dos complejos siguientes: *L. esculentum* y *L. peruvianum*. No obstante, Child (1990) colocó a los tomates en *Solanum* subgénero *Potatoe*, sección *Lycopersicum*, subsección *Lycopersicum* y lo distribuyó en tres series: *Eriopersicon* (C. H. Mull) Child, *Lycopersicon* y *Neolycopersicon* (Correl) Child (**Cuadro 7**).

**Cuadro 7.** Estudios taxonómicos del tomate (adaptado de Peralta y Spooner, 2000).

<b>Muller, 1940</b>	<b>Luckwill, 1943</b>	<b>Rick, 1979</b>	<b>Child, 1990</b>
Subg. <i>Eulycopersicon</i>	Subg. <i>Eulycopersicon</i>	Complejo <i>Esculentum</i>	Serie <i>Lycopersicon</i>
<i>L. esculentum</i> (3)	<i>L. esculentum</i> (8)	<i>L. esculentum</i> (2)	<i>L. esculentum</i>
<i>L. pimpinellifolium</i>	<i>L. pimpinellifolium</i>	<i>L. pimpinellifolium</i>	<i>L. pimpinellifolium</i>
Subg. <i>Eriopersicon</i>	Subg. <i>Eriopersicon</i>	<i>L. cheesmaniae</i>	<i>L. cheesmaniae</i>
<i>L. peruvianum</i> (3)	<i>L. peruvianum</i> (3)	<i>L. pennellii</i>	Serie <i>Neolycopersicon</i>
<i>L. Cheesmanii</i> (2)	<i>L. pissisi</i> ?	<i>L. hirsutum</i>	<i>L. pennellii</i>
<i>L. hirsutum</i> (2)	<i>L. cheesmaniae</i> (2)	<i>L. chmielewskii</i>	Serie <i>Eriopersicon</i>
<i>L. glandulosum</i>	<i>L. hirsutum</i> (2)	<i>L. parviflorum</i>	<i>L. habrochaites</i>
	<i>L. glandulosum</i>	Complejo Peruvianum	<i>L. chmielewskii</i>
		<i>S. chilense</i>	<i>S. chilense</i>
		<i>S. peruvianum</i>	<i>S. peruvianum</i>
			<i>L. neorickii</i>

(#) diferencias en número de especies, subespecies y variedades.

Mediante el análisis de sitios de restricción del ADN del cloroplasto, se ha identificado al tomate junto con dos de sus especies silvestres conformar un solo grupo con especies del género *Solanum* subgénero *Potatoe*, de esta manera ubicando al tomate como perteneciente al género *Solanum* especie *Solanum lycopersicum* L. (Spooner *et al.*, 1993). Así mismo, Marshall *et al.* (2001) a través de la comparación de secuencias de nucleótidos de las regiones intrónicas del gen que codifica por el ARN ribosomal y la realización de un análisis cladístico, determinaron que todas las especies del género *Lycopersicon* y dos especies del género *Solanum* subgénero *Potatoe* conformaron un mismo grupo confirmando la inclusión del tomate cultivado y sus especies relacionadas dentro del género *Solanum* sección *Lycopersicum*. Del mismo modo, Peralta y Spooner (2001) mediante la comparación de secuencias de nucleótidos del gen que codifica una de las enzimas que cataliza la producción de almidón (del inglés GBSSI) y la realización de un análisis cladístico, observaron que todas las especies que conformaban al anterior género *Lycopersicon* y varias especies del género *Solanum* subgénero *Potatoe*, formaron parte de un mismo grupo, confirmando la inclusión del tomate y sus especies silvestres dentro del género *Solanum* sección *Lycopersicum*. Basado en estos y otros resultados, una nueva clasificación filogenética ha asignado al tomate al género *Solanum* (Peralta *et al.*, 2005).

Peralta y Spooner (2000) y Peralta *et al.* (2006) señalan la nueva nomenclatura para las especies que eran consideradas pertenecientes al género *Lycopersicon* (**Cuadro 8**).

Actualmente, se ha ajustado la nomenclatura del tomate propuesta por el Sistema de Información Taxonómica Integrada (del inglés ITIS), una asociación internacional conformada por Estados Unidos de América, Canadá y México. En México esta propuesta ha sido avalada por la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO) como se indica en el **Cuadro 9**.

**Cuadro 8.** Nueva nomenclatura del tomate y sus especies silvestres

<b>Nuevo nombre científico</b>	<b>Anterior nombre científico</b>
<i>Solanum lycopersicum</i> L.	<i>Lycopersicon esculentum</i> Mill.
<i>Solanum habrohaites</i> S. Knapp y D. M. Spooner	<i>Lycopersicon hirsutum</i> Dunal
<i>Solanum peruvianum</i> L.	<i>Lycopersicon peruvianum</i> (L.) Mill.
<i>Solanum penellii</i> Correll	<i>Lycopersicon penellii</i> (Correll) D'Arcy
<i>Solanum neorickii</i> D. M. Spooner, G. J. Anderson y R. K. Jansen	<i>Lycopersicon parviflorum</i> C. M. Rick, Kesicki Fobes y M. Holle
<i>Solanum chmielewskii</i> (C. M. Rick, Kesicki Fobes y M. Holle) D. M. Spooner, G. J. Anderson y R. K. Jansen	<i>Lycopersicon chmielewskii</i> C. M. Rick, Kesicki Fobes y M. Holle
<i>Solanum chilense</i> (Dunal) Reiche	<i>Lycopersicon chilense</i> Dunal
<i>Solanum cheesmaniae</i> (L. Riley) Fosberg	<i>Lycopersicon cheesmaniae</i> L. Riley
<i>Solanum pimpinellifolium</i> B. Juss	<i>Lycopersicon pimpinellifolium</i> (L.) Mill.

Fuente: Peralta y Spooner (2000) y Peralta *et al.* (2006)

**Cuadro 9.** Nomenclatura taxonómica del tomate de acuerdo con el ITIS y la CONABIO.

Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Asteridae
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Género	<i>Solanum</i>
Especie	<i>Solanum lycopersicum</i> L.
Variedad	<i>Solanum lycopersicum</i> var. <i>lycopersicum</i> L.

Fuente: [www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search\\_topic=TSN&search\\_value=566310](http://www.itis.gov/servlet/SingleRpt/SingleRpt?search_topic=TSN&search_value=566310)  
[www.siiit.conabio.gob.mx/pls/itisca/taxastep?king=Plantae&p\\_action=exactly+for&taxa=Solanum+lycopersicum&p\\_format=&p\\_ifx=itismx&p\\_lang=es](http://www.siiit.conabio.gob.mx/pls/itisca/taxastep?king=Plantae&p_action=exactly+for&taxa=Solanum+lycopersicum&p_format=&p_ifx=itismx&p_lang=es)

## **Botánica del tomate**

De acuerdo con Peralta y Spooner (2007) y Benton Jones (2008), los tomates silvestres son plantas herbáceas perennes, aunque en su hábitat natural muy probablemente se comportan como anuales y pueden morir después de la primera estación de crecimiento debido a las heladas o la sequía. Son de hábito de crecimiento indeterminado erecto o postrado, aunque a través del mejoramiento en las variedades de crecimiento determinado, estas terminan con un racimo floral en el ápice. Las hojas son pinnadas con 2-6 pares de folíolos opuestos o sub-opuestos, sésiles, subsésiles o pecioladas. Existe una gran variación interespecífica en la disección de la hoja con folíolos primarios, secundarios, terciarios e interpuestos. La inflorescencia básica es una cima con diferentes patrones de ramificación (mono, di y policotómico), y con o sin brácteas axiales, contando con tres nudos entre cada inflorescencia. Las flores son típicamente amarillas, las anteras están unidas lateralmente para formar un cono en forma de botella con una punta alargada estéril en el ápice (excepto en *S. pennellii*). Los sistemas de polinización han jugado un papel importante en la evolución de la naturaleza especies de tomate, que van desde alógama autoincompatible, a facultativos alógamas, y de auto-compatible, a autógamas y auto-compatible (Rick 1963, 1979 y 1986). El tamaño del fruto, el color y pubescencia son variables, al igual que el tamaño de las semillas, el color y el desarrollo de las paredes radiales de las células de la testa (Müller, 1940; Luckwill 1943). Las frutas son bayas generalmente bilocular en las especies silvestres, y bilocular o multiloculares en el las variedades cultivadas.

## **Factores que afectan la producción de tomate**

### **Luz**

La intensidad luminosa óptima se sitúa entre 5000 y 7000 pies-bujía (1000 a 14000  $\mu\text{moles}$  de fotones  $\text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  para plantas en producción, aunque durante su crecimiento puede ser un poco menor. Esta debe ser difusa para que llegue a las plantas en todas las direcciones para una mayor fotosíntesis. Para hacer luz más difusa y evitar irradiancias excesivas en localidades de climas con muchos días soleados, conviene que la cubierta esté parcialmente pigmentada con color blanco lechoso (20 a 35% de sombra) (Sánchez y Contreras, 2002). En virtud de que una fuerte radiación solar directa sobre el fruto (aprox. 2990  $\mu\text{mol} \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$  por 1.5 a 4 h) es perjudicial (Brandt *et al.*, 2006).

## **Temperatura**

El jitomate es una planta de clima cálido que no tolera heladas. La temperatura óptima en el ambiente de la raíz, es de 12 a 16 °C, con una mínima de 10 y máxima de 30 °C. Así mismo, para un buen desarrollo del cultivo se requieren: 15 a 18 °C en la noche; 24 a 25 °C en el día; 21 °C en floración; 22 a 23 °C en desarrollo vegetativo; y a 12 °C se detiene el desarrollo vegetativo (Valdéz, 1990).

Por otra parte, Duggar (1913) señala que la temperatura óptima para la formación de licopeno es aquella la cual coincide con el óptimo para el crecimiento o incluso un poco menor. En frutos cosechados verdes y almacenados a diferentes temperaturas Vogele (1937) encontró a 24 °C como el óptimo para la síntesis de licopeno, siendo inhibida a temperaturas superiores a 30 °C; en tanto que de 32 a 36 °C se producen frutos amarillo brillosos y a temperaturas de 40 °C, los frutos permanecen verdes porque se previene la descomposición de la clorofila. Sin embargo en frutos unidos a la planta, a temperaturas entre 19 y 30 °C se favorece la síntesis de licopeno, pero con un mayor contenido de este pigmento a 26.5 °C que a 20 °C (Went *et al.*, 1942; Brandt *et al.*, 2006).

## **Humedad relativa**

La humedad relativa favorable es de 50 a 60%, ya que cuando es más alta las anteras se hinchan y el polen no puede liberarse ni caer sobre el estigma y las flores no se polinizan y caen. Pero cuando es de 80% o mayor, se propicia el desarrollo de hongos; mientras que la humedad relativa de 50% o menos dificulta la fijación del polen al estigma de la flor, el polen se deshidrata rápidamente y disminuye el amarre de frutos (Velasco y Nieto, 2006).

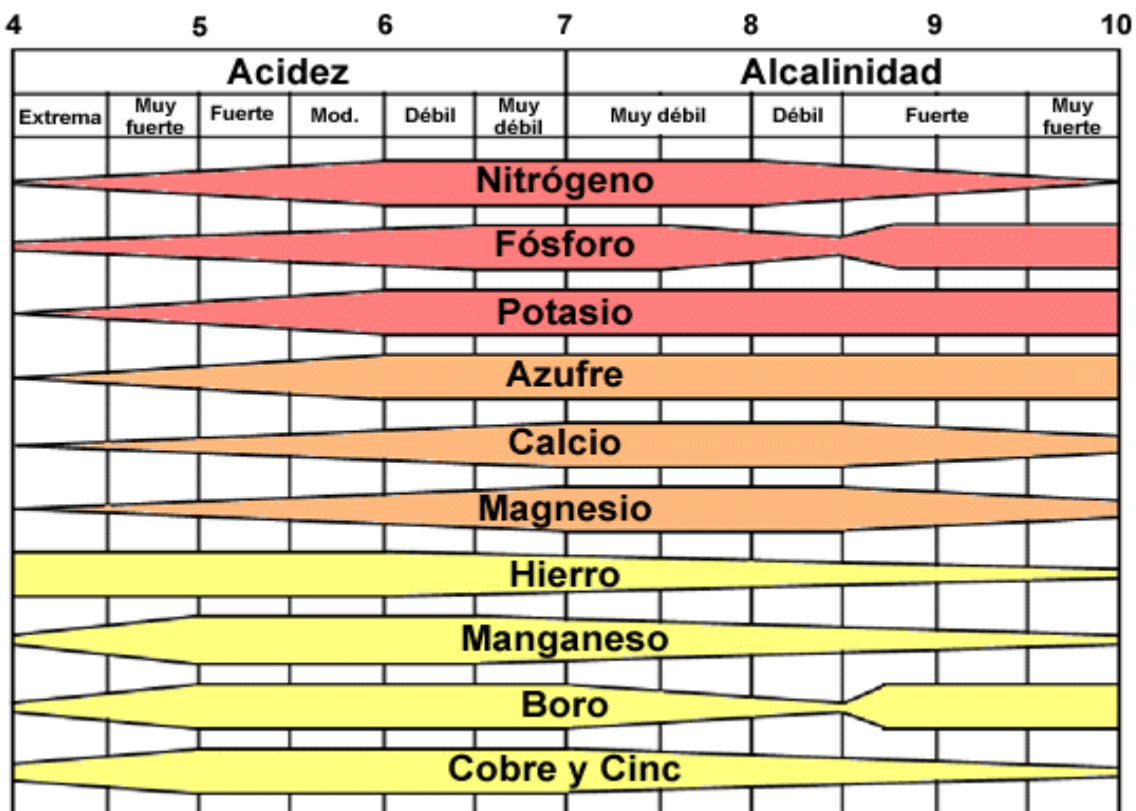
## **pH en el medio de la raíz**

Las plantas a través de la raíz pueden tomar los nutrimentos en un rango de pH de 5 a 7 (**Figura 3**), donde los micronutrimentos están más disponibles en la acidez y los macronutrimentos en cercanos a la alcalinidad. Entonces las soluciones nutritivas deben ser mantenidas dentro de este rango, el cual generalmente oscila de 5.5 a 6.5 (Papadopoulos, 1991; Maldonado y Álvarez, 2002).

### Requerimientos nutrimentales

El tomate como todas las plantas para cumplir su ciclo biológico requiere de elementos minerales esenciales como: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, cloro, hierro, manganeso, zinc, cobre, molibdeno y níquel en la proporción y en sus formas iónicas como las plantas los requieren.

Considerando la diversidad en soluciones nutritivas empleadas en el cultivo de tomate, la solución Steiner (1961 y 1984) es la que presenta una mejor constitución por su condición de equilibrio entre aniones y cationes. La restricción impuesto por el balance iónico establece que la suma de aniones debe ser la misma que la de cationes, expresada en meq L<sup>-1</sup> (Maldonado, 1994).



**Figura 3.** Disponibilidad de nutrimentos a distintos intervalos de pH.

### Salinidad

En virtud de una gran cantidad de información sobre los efectos de salinidad en el comportamiento fisiológico y genético del cultivo de tomate, esta especie puede servir como cultivo indicador tanto para la recuperación de suelos salinos, como en la producción con agua

de calidad pobre (Cuartero y Fernández-Muñoz, 1999) ya que esta especie ha sido clasificada como moderadamente sensible a la salinidad con una conductividad umbral de  $2.5 \text{ dS m}^{-1}$  en suelo y  $1.7 \text{ dS m}^{-1}$  en el agua de riego (manteniendo una fracción de lixiviación) y considerando una disminución del 10% del rendimiento por cada unidad de aumento de la salinidad más allá del umbral (Mass y Hoffman, 1977; Ayers y Westcot, 1985; Blaylock, 1994). Sin embargo es necesario tomar en cuenta que el rendimiento disminuye de 1880 a 268 g planta<sup>-1</sup> con incrementos en la salinidad del agua de 0.26 a  $10 \text{ dS m}^{-1}$ ; en ese mismo orden la biomasa vegetal pasa de 253.3 a 94.4 g pta<sup>-1</sup>; y el consumo y eficiencia del uso del agua disminuye drásticamente (Yurtseven *et al.*, 2005).

Los efectos negativos de la salinidad en el crecimiento y rendimiento del tomate producido en cultivo sin suelo ha sido ampliamente documentado (Mizrahi, 1982; Adams, 1991; Schwartz y Kuchencbuch, 1997; Stanghellini *et al.*, 1998). La salinidad afecta las relaciones hídricas de la planta debido a una disminución en la disponibilidad y absorción de agua. Así mismo, los desórdenes inducidos por la salinidad aparecen en relación a la absorción excesiva de Na y Cl<sup>-</sup>, desbalance de nutrimentos por la disponibilidad o absorción competitiva y el transporte o distribución dentro de la planta (Dorai *et al.*, 2001; Marschner 2002).

En el caso del cultivo de tomate en hidroponía y utilizando sustratos minerales inertes como las gravas y perlita, se ha investigado el efecto de la salinidad promovida por la adición de NaCl en la solución nutritiva. Soria y Cuartero (1998) reportan una disminución del rendimiento del 41 al 89% en CE de 6.3 a  $15.8 \text{ dS m}^{-1}$ , teniendo como testigo una solución de  $2.7 \text{ dS m}^{-1}$ ; de la misma forma el consumo de agua disminuye considerablemente de 0.57 a 0.19 L de agua por día por planta en los tratamientos de alta salinidad ( $6.3$  a  $13 \text{ dS m}^{-1}$ ) mientras que en el tratamiento control (CE  $2.7 \text{ dS m}^{-1}$ ) se alcanza un consumo de 1.03 L de agua. Del mismo modo, Tüzel *et al.* (2003) obtuvieron resultados similares en dos estaciones de producción de tomate, donde el mayor rendimiento se produjo en el tratamiento testigo (CE de  $2 \text{ dS m}^{-1}$ ) con  $14.34 \text{ kg m}^{-2}$  en la primavera y  $13.63 \text{ kg m}^{-2}$  en el otoño. No obstante, en ambas estaciones, la reducción del rendimiento fue debido a la reducción del tamaño del fruto paralelo al incremento de la salinidad de la solución nutritiva, de esta forma los mayores porcentajes de frutos de primera clase se



obtuvieron en el tratamiento testigo. Adicionalmente, se tiene una mayor incidencia a la pudrición apical conforme se aumenta la salinidad.

La salinidad en los frutos de tomate tiene un efecto marcado en diferentes atributos de calidad. Aumenta el porcentaje de peso seco, sólidos solubles totales, acidez titulable, contenido de azúcares reductores, Na, Cl, contenido de pigmentos, conductividad eléctrica del jugo y preferencia en el consumo, pero también presenta efectos adversos en la fisiología del fruto por el aumento de las tasas de evolución del etileno y CO<sub>2</sub>, la actividad de la pectin metil esterasa, polimetilgalacturonasa y poligalacturonasa, las cuales están relacionadas con el ablandamiento del fruto. Contrario a lo anterior acorta del 4 al 15% el tiempo desde la antesis al inicio del proceso de maduración del fruto en el cual se reduce, tanto el pH del jugo como su peso fresco denotado por su tamaño (Mizrahi, 1982; Mitchell *et al.*, 1991; Cornish 1992; Yurtseven *et al.*, 2005).

En general, independientemente del suelo o sustrato usado, la disminución del rendimiento del 10 al 15% puede esperarse por cada 1 dS m<sup>-1</sup> de incremento en la solución, cuando la salinidad está dentro del rango de 2 a 7 dS m<sup>-1</sup> y una menor disminución a una salinidad superior. Entonces debido a la reducción del rendimiento de tomate cultivado en hidroponía por efectos de salinidad, resulta inviable económicamente su producción en soluciones nutritivas  $\geq 6$  dS m<sup>-1</sup> (Soria y Cuartero, 1998), lo cual coincide por lo indicado por Mass y Hoffman (1977) y Saranga *et al.* (1991).

### **Frecuencia de riegos**

En tomate, Ismail *et al.* (1993) encontraron una reducción en el potencial hídrico de las hojas, conductancia estomatal, fotosíntesis foliar, sólidos solubles totales en fruto y hasta 70% del rendimiento cuando la frecuencia de riegos fue de uno o dos riegos al día, comparado con cuatro cinco riegos diarios; mientras que con riegos de más de una vez al día, se incrementa el peso seco de raíz.

### **Drenaje del agua de riego**

Para prevenir la acumulación excesiva de sales soluble en suelos irrigados, más agua del requerido para satisfacer las necesidades de evapotranspiración de los cultivos debe pasar a través de la zona radical para lixiviar o lavar el exceso de sales. Esta agua de riego adicional típicamente ha sido expresada como el requerimiento de lixiviación, el cual originalmente es definido como la fracción de agua infiltrada que debe pasar a través de la zona de la raíz para mantener la salinidad del suelo de los excesos que significativamente reducirían el rendimiento (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954; Rhoades, 1974; Goykovic y Saavedra, 2007). En tomate cultivado en suelo y regado con aguas de  $2.1 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , pH de 7.6 y un “Relación de Adsorción de Sodio” de 4  $(\text{mol m}^{-3})^{1/2}$  el rendimiento se reduce conforme disminuye la fracción de lixiviación, mientras que los sólidos solubles totales y el porcentaje de acidez titulable aumentan pero sin cambios significativos en el pH del fruto (Jobes *et al.*, 1981). No obstante, una sobre estimación de la fracción de lixiviación resultaría en la aplicación de cantidades excesivas de agua de riego e incremento de la carga de sales en los sistemas de drenaje, el cual detrimentalmente puede impactar el ambiente y reducir el suministro de agua (Corwin *et al.*, 2007).

En hidroponía esta fracción de lixiviación se denomina fracción de lavado el cual indica la cantidad de agua de drenado necesario para mantener la salinidad del medio de la raíz por debajo de un umbral que afectaría la producción de cultivos. Se reportan fracciones de lavado del orden del 15% (Ross *et al.*, 2001) y del 10% al 35% en producción de tomate en suelo e hidroponía (Tüzel *et al.*, 2003; Yurtseven *et al.*, 2005).

### **Atributos de calidad**

Existen diferentes estándares de calidad para facilitar el intercambio de productos y definir con precisión los principales aspectos que lo integran. De esta manera, el gobierno de Estados Unidos reporta sus normas para la importación de tomate fresco (USDA, 1991), mientras que en México existe la norma MCS Tomate, (2005) donde se indican los diferentes requerimientos del producto para la venta al consumidor bajo esta norma.

La calidad de frutas y hortalizas es una combinación de atributos o propiedades que le dan valor en términos de alimento humano. Los componentes de calidad incluyen apariencia, textura, flavor y valor nutritivo (Winsor, 1979; Kader, 1983). Sin embargo, los consumidores ven la

calidad de los frutos en base a la apariencia, la firmeza y que ofrecen buen flavor y valor nutritivo.

La palabra “calidad” proviene del latín *qualitas*, que significa atributo, propiedad o naturaleza básica de un objeto. Sin embargo, en la actualidad y en sentido abstracto su significado es “grado de excelencia o superioridad” (Kader, 2002). Aceptando esta definición, se puede decir que un producto es de mejor calidad cuando es superior en uno o varios atributos que son valorados objetiva o subjetivamente.

La calidad del fruto de tomate como en todas las hortalizas, tiene un intenso efecto de la nutrición, la variedad y el ambiente de cultivo (Winsor, 1979). No obstante, Kader (1992, y 1996) señala que todos los frutos con algunas excepciones, alcanzan su calidad óptima para el consumo cuando se maduran completamente en la planta.

En la evaluación de calidad en tomate, se deben incluir la apariencia, firmeza, flavor, valor nutricional y seguridad (sanidad) en la etapa de madurez de consumo, mientras que el sabor puede ser estimado midiendo lo sólidos solubles y el contenido de ácidos orgánicos (Kader, 2002; Cantwell *et al.*, 2007).

Objetivamente, la calidad de un fruto puede ser evaluada físicamente o por su composición química. En el primero destacan el tamaño, el color y la firmeza, entre otros. En el segundo, el valor nutritivo, los sólidos solubles totales, la acidez titulable, pH, la conductividad eléctrica, entre los más frecuentes.

### **Firmeza**

La firmeza es el principal atributo textural medido en frutos y vegetales. En una prueba estándar, esta es obtenida por la fuerza necesaria para causar la penetración a una distancia específica dentro del producto (Shewfelt, 1993).

El diente determina la rigidez de la estructura. Ellos son sensibles a la cantidad de presión requerida para romper los alimentos y la forma obtenida de la comida por la fuerza aplicada (Wills *et al.*, 1989).

Este atributo usualmente es medido mecánicamente por pruebas de punctura destructiva con el Instron, el cual mide la firmeza como una fuerza. Dentro del SI, la unidad fuerza es el Newton (N) por lo tanto, este debe ser usado para reportar los resultados (Shewfelt, 1993).

### **Color**

El color es el principal atributo de calidad que tiene el consumidor a la hora de seleccionar los alimentos, ya que constituye la primera carta de presentación del mismo, relacionándolo con su calidad (Salunkhe *et al.*, 1974).

Los tomates obtienen un color rojo típico cuando maduran y este atributo es asociado con la obtención de cierta calidad sensorial y suavidad deseable. El color rojo del tomate, es por lo tanto un buen índice de calidad en frutos madurados en la planta (Frenkel y Jen 1989). Este parámetro cambia con las diferentes etapas de desarrollo del fruto (**Cuadro 10**).

**Cuadro 10.** Cambio de color durante la maduración del tomate.

Etapa de desarrollo	Escala de color				
	L	a	b	Croma	$\Delta$ Tono
Verde maduro	62.7	-16.0	34.4	37.9	115
Estrellado/Rallado	55.8	-3.5	33.0	33.2	83.9
Naranja rosado	49.6	16.6	30.9	35.0	61.8
Rojo anaranjado	46.2	24.3	27.0	36.3	48.0
Rojo brillante	41.8	26.4	23.1	35.1	41.3
Rojo oscuro	39.6	27.5	20.7	34.4	37.0

**Fuente:** Cantwell *et al.* (2007)

Generalmente, el tomate en fresco se consume en su máxima calidad organoléptica que se presenta cuando el fruto ha alcanzado por completo el color rojo, pero antes de un ablandamiento

excesivo. El color es una característica física importante en la determinación del punto de maduración, vida postcosecha y un factor determinante en la decisión de compra por parte de los consumidores (Casierra-Posada y Aguilar-Avenidaño, 2008).

El color se define como la sensación visual que se origina por la estimulación de la retina del ojo (La Guía MetAs, 2009).

HunterLab e Izasa (2001) señalan que para ver el color de un objeto, se requieren de una fuente de luz, un objeto y un observador. Donde la fuente representa la fuente física de luz con características de radiación electromagnética conocida; mientras que a través del objeto se puede medir la transmisión y reflectancia; y un observador donde se parte del principio que el ojo humano posee fotorreceptores, denominados bastones activados en la visión nocturna que distinguen el negro, blanco y gris, en tanto que los tres tipos de conos responsables de la visión diurna son sensibles al rojo, azul y verde, de esta manera, la CIE (Comisión Internacional de l'Eclairage) efectuó experimentos para cuantificar la habilidad del ojo humano para percibir el color, obteniendo en 1931 un observador patrón a 2° y en 1964 un observador patrón a 10°, de los cuales resultaron las funciones de relación del color requeridos para cuantificar la sensibilidad de los conos del observador humano promedio.

**Historia.** En 1905, el artista americano A. H. Munsell ideó un método para la expresión de los colores por comparación visual con el objeto usando un gran número de fichas de papel de diferente tono (H), luminosidad (V) y saturación (C); el cual está actualmente en uso. En este sistema cualquier color es expresado como una combinación de letras y números (H V/C) en términos de su tono (H), luminosidad (V) y saturación (C) (Minolta, 2007).

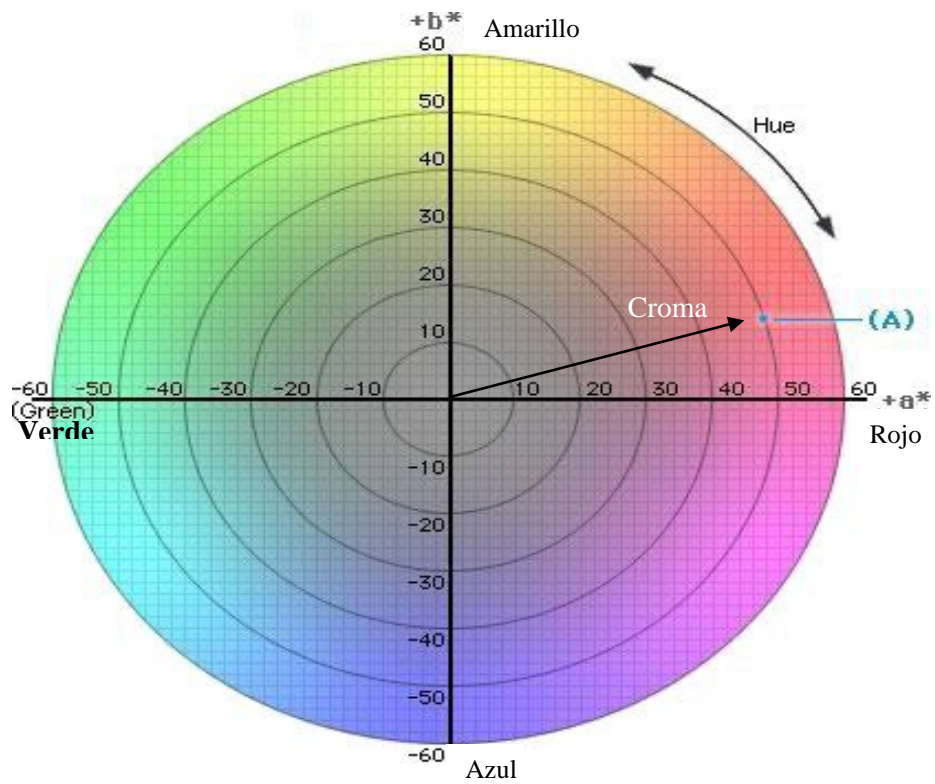
Otros métodos para la expresión de color numéricamente, fueron desarrollados por una organización internacional relacionada con la luz y color, la Comisión Internacional de l'Eclairage (CIE). Los dos más conocidos de estos métodos son el espacio de color Yxy desarrollado en 1931 basado en los valores triestímulos XYZ definido por la CIE, y el espacio de color L\*a\*b\*, desarrollado en 1976 para proveer diferencias de color más uniforme en relación a

las diferencias visuales. Después de varios mejoramientos, estos espacios de color son ahora usados a través del mundo para la comunicación del color (Minolta, 2007).

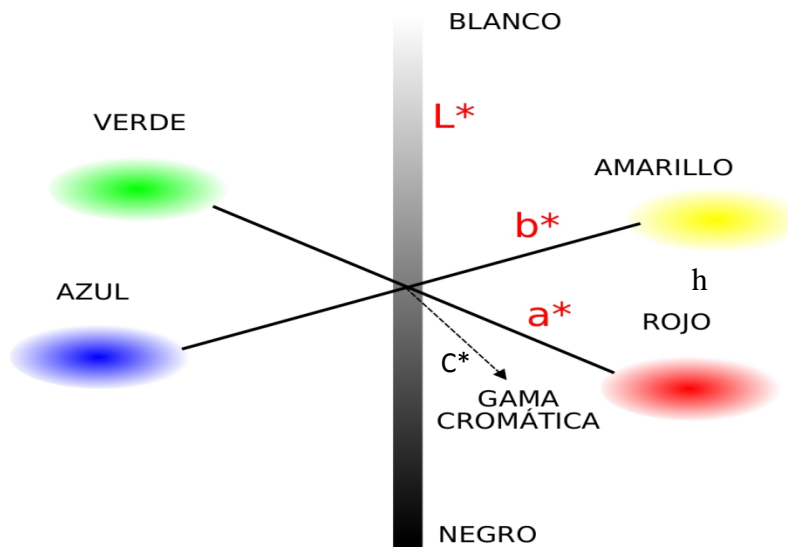
**Espacio de color  $L^*a^*b^*$  (CIELAB).** Es uno de los espacios de color uniforme definido por el CIE en 1976 con el objetivo de reducir uno de los mayores problemas del espacio original Yxy: a igual distancia en el diagrama de cromaticidad x,y no corresponden a la igualdad de las diferencias de color percibido. En este espacio de color  $L^*$  indica luminosidad y  $a^*b^*$  son coordenadas de cromaticidad. En la **Figura 4** se muestra el diagrama de cromaticidad  $a^*b^*$ . En este diagrama,  $a^*b^*$  indican la dirección del color (hue):  $+a^*$  del rojo,  $-a^*$  del verde,  $+b^*$  del amarillo,  $-b^*$  del azul y siendo acromático el centro. A medida que los valores de  $a^*$  y  $b^*$  aumentan y el punto se aleja del centro, la saturación (croma) del color del objeto incrementa. Mientras que la Luminosidad perpendicular al diagrama de cromaticidad, determina la brillantez u opacidad (oscuro) con escalas de 0 a 100 en negro y blanco respectivamente.

**Espacio de color  $L^*C^*h$ .** El espacio de color  $L^*C^*h$  usa el mismo diagrama que el espacio de color  $L^*a^*b^*$ , pero este usa coordenadas cilíndricas en vez de coordenadas rectangulares (**Figura 5**). En este espacio,  $L$  indica luminosidad y es el mismo como en el espacio de color  $L^*a^*b^*$ ,  $C^*$  es croma, y  $h$  es el ángulo hue. El valor de croma  $C^*$  es 0 en el centro y aumenta según se aleje de este punto. El ángulo hue  $h$  es definido como punto de partida en el eje  $+a^*$  y es expresada en grados:  $0^\circ$  y  $360^\circ$  sería  $+a^*$  (rojo),  $90^\circ$   $+b^*$  (amarillo),  $180^\circ$   $-a^*$  (verde), y  $270^\circ$   $-b^*$  (azul).

Croma se calcula de acuerdo a la fórmula  $S=(a^2+b^2)^{1/2}$  que representa la hipotenusa de un triángulo creado por la unión de los puntos (0,0), (a,0) y (a,b); mientras que hue, se define como el ángulo entre la hipotenusa y  $0^\circ$  en el eje a (verde azul y rojo púrpura), en base a la expresión  $\tan^{-1}(b/a)$ , ambas propuestas por Little (1975).

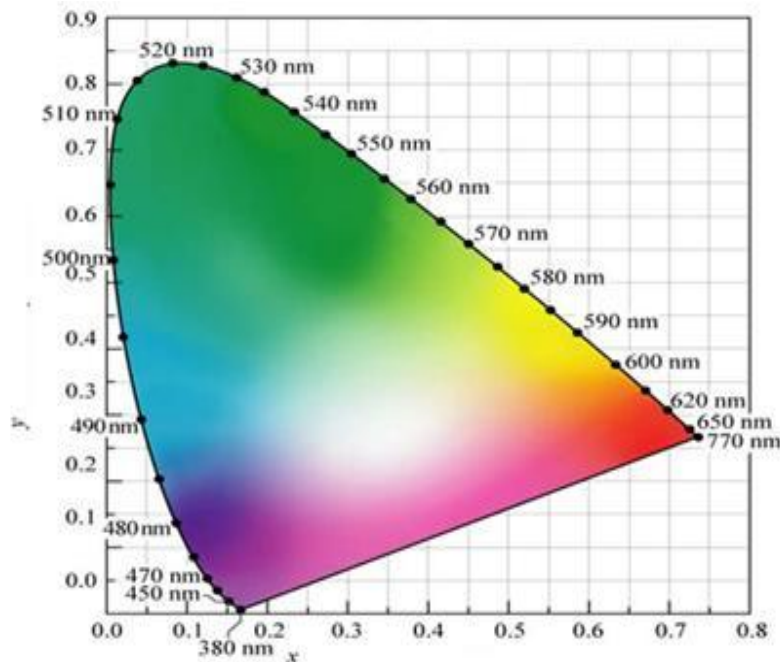


**Figura 4.** Diagrama de cromaticidad del espacio de color L\*a\*b\* (hue y croma).



**Figura 5.** Espacio de color L\*C\*h. L\* Luminosidad (negro al blanco); C\* croma (saturación); h (hue o ángulo de tono).

**Espacio de color XYZ.** Los valores triestímulos XYZ y el correspondiente espacio de color Yxy constituyen la base del presente espacio de color CIE. El concepto para los valores triestímulos XYZ está basado en la teoría de los tres componentes de visión del color, el cual establece que el ojo posee receptores para los tres colores primarios (rojo, verde y azul) y que todos los colores son visualizados como una mezcla de estos. La CIE en 1931 definió el Observador Estándar tener las funciones de relación de color,  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$  y  $\bar{z}(\lambda)$ . Los valores triestímulos son calculados usando estas funciones de relación de color del Observador Estándar. Los valores triestímulos XYZ son útiles para la definición de un color, pero los resultados no son fácilmente visualizados. Debido a esto, la CIE también definió un espacio de color en 1931 para el color graficado en dos dimensiones independiente de la luminosidad; este es el espacio de color Yxy, en el cual Y es la luminosidad y, xy son coordenadas calculadas de los valores triestímulos XYZ. El diagrama de cromaticidad para este espacio de color es mostrado en la **Figura 6**. En este diagrama, los colores acromáticos están hacia el centro y la cromaticidad incrementa hacia los bordes (Minolta, 2007).



**Figura 6.** Diagrama de cromaticidad x,y. Acromático en el centro e incrementando la cromaticidad hacia los bordes.

**Escala de medición del color.** El color puede ser medido en un espacio tridimensional, compuesto por tres atributos: Luminosidad en el cual los colores pueden ser separados en colores brillantes y oscuros en una escala del negro al blanco; Tono (hue) es el término usado para definir si el objeto es de color rojo, amarillo, verde, azul, entre otros; y Saturación (croma), los



colores pueden ser opacos o intensos es decir la cantidad de color presente en el objeto (HunterLab e Izasa, 2001).

**Equipos de medición.** En la actualidad se tienen los colorímetros y espectrofotómetros para la medición del color, la diferencia entre ellos es que el colorímetro está diseñado con tres filtros de color rojo, verde y azul para seleccionar la longitud de onda del haz de luz y los espectrofotómetros están diseñados con una red de difracción para separar el haz de luz en todos sus componentes (La Guía MetAs, 2009).

**Aplicaciones.** La evaluación del color por métodos visuales es subjetiva, mientras que la evaluación con colorímetros u espectrofotómetros es objetiva. Desde 1931 se considera el punto de partida de la colorimetría moderna, ya que con la implementación de sus recomendaciones se hizo posible la expresión de color en términos numéricos, lo cual favoreció los procesos de evaluación de color. La aplicación de la colorimetría es amplia, se utiliza en diversas industrias como: pinturas, tintas, textiles, cerámicos, plásticos, papel, automotriz, fotografía, alimentos, cosméticos y farmacéuticos.

### **Sólidos solubles totales**

Los sólidos solubles en los frutos de tomate, están constituidos de ácidos orgánicos, minerales y azúcares. Dentro de este grupo de compuestos, predominan los azúcares reductores fructosa y glucosa y cantidades traza de sacarosa, los cuales a su vez contribuyen de manera importante al sabor y por lo general, llega a ser muy intenso cuando sus azúcares alcanzan su mayor contenido (Salunkhe *et al.*, 1974). Así mismo, el contenido azúcares reductores en frutos de tomate generalmente correlaciona con el contenido de sólidos solubles y muchos frutos deben tener un contenido mínimo para ser cosechados, tales como los melones, uvas y cítricos (Stevens, 1972a; Stevens *et al.*, 1977; Malundo *et al.*, 1995; Wills *et al.*, 1998; López-Camelo, 2003).

El contenido de azúcares puede ser medido por procedimientos químicos, pero resulta más fácil e igualmente útil, determinar los sólidos solubles totales de una muestra mediante un refractómetro o un densímetro. Estos instrumentos se basan en la medida de la refracción de la luz a su paso a

través de una muestra pequeña del jugo y en la relación entre la densidad del jugo y el contenido de azúcares (Wills *et al.*, 1998).

La unidad de medida del refractómetro es el °Brix, la cual es una unidad representativa del contenido de azúcar de una solución acuosa. 1° Brix corresponde a 1 g de sacarosa en 100 g de solución y esto representa la concentración de la solución como un porcentaje en base a peso. Si la solución contiene sólidos disueltos con excepción de la sacarosa pura, tal como otros azúcares y minerales, entonces los °Brix solamente aproxima al contenido de sólidos disueltos.

Los sólidos solubles totales, aumentan conforme madura el fruto (Winsor *et al.*, 1962) del tomate, el cual contiene en promedio de 3.4 a 6% de sólidos solubles, principalmente azúcares, variando de acuerdo al genotipo (Frenkel y Jen, 1989; Cantwell *et al.*, 2007; Turhan y Seniz, 2009).

Considerando que los sólidos solubles totales están constituidos principalmente por azúcares reductores, Auerswald *et al.* (1999) encontraron diferencias significativas en el contenido de estos azúcares a medida que aumentó la CE de la solución nutritiva del cultivo de tomate desde 1, 3.5 y 6 dS m<sup>-1</sup>, obteniendo el mayor valor de azúcares reductores con la mayor conductividad probada.

Desafortunadamente, frecuentemente existe una relación inversa entre el rendimiento y el contenido de sólidos solubles totales, debido principalmente a las limitaciones fisiológicas tales como eficiencia fotosintética, relaciones fuente-demanda y pérdidas por respiración, entonces mientras un componente incrementa, usualmente resulta en una disminución en otro (Davies y Hobson, 1981).

### **Jugosidad**

La jugosidad es la sensación de derrame de líquidos en el interior de la boca a medida que los tejidos son masticados. El contenido de jugos de muchos frutos se incrementa a medida que madura en la planta. En cítricos está regulado el contenido mínimo que deben poseer y que para

naranjas Navel es de 30 por ciento, en pomelo y otras naranjas 35 por ciento, en limones 25 por ciento, mandarinas 33 por ciento y clementinas 40 por ciento (Thompson, 1996).

La presencia del gel contenido en los lóculos tiene un papel muy importante en la percepción de la jugosidad del tomate. En el estado maduro, la proporción del gel entre las variedades de calibre intermedio puede variar del 20 al 30% del peso total del fruto (Valcárcel, 2009).

### **Acidez titulable**

Los ácidos orgánicos cítrico y málico son los que contribuyen más en el sabor típico del tomate (Salunkhe *et al.*, 1974). El ácido predominante en el fruto de tomate maduro, es el ácido cítrico, seguido del málico, ambos encontrados principalmente en la cavidad locular y en baja proporción en el mesocarpio (Mahakun *et al.*, 1979; Frenkel y Jen, 1989; Chamarro, 1995).

La acidez titulable es fácil de determinar en el jugo extraído, mediante titulación con una disolución alcalina (habitualmente NaOH 0.1 N) hasta el viraje por un indicador de pH (generalmente fenolftaleína) o hasta alcanzar un pH específico (Wills *et al.*, 1998). Shewfelt (1993), menciona que la acidez determinada por titulación, se expresa en términos del ácido predominante, siendo en tomate el ácido cítrico (Davies y Hobson, 1981). Existe una fuerte correlación positiva entre el contenido de ácidos y la acidez titulable (Malundo *et al.*, 1995). En este sentido Cantwell *et al.*, (2007) señala una oscilación de 0.34-0.35% de acidez titulable en el fruto de tomate, el cual tiende a disminuir a medida que avanza el proceso de maduración, aunque experimenta un ligero aumento cuando los frutos se tornan amarillos para después disminuir (Winsor *et al.*, 1962).

Por otra parte, Auerswald *et al.* (1999) encontraron diferencias significativas en la acidez titulable a medida que aumentó la CE de la solución nutritiva del cultivo de tomate desde 1, 3.5 y 6 dS m<sup>-1</sup>, obteniendo la mayor acidez (0.890 Eq g<sup>-1</sup> de peso fresco) con la mayor conductividad probada. En este sentido, la salinidad incrementa el contenido de ácido cítrico en tomate, al disminuir la cantidad de agua (Flores *et al.*, 2003).

### **Relación SST/Acidez titulable (SST/AT)**

La relación sólidos solubles totales/acidez titulable es importante en la definición de las diferencias del flavor entre cultivares de tomate (De Bruyn *et al.*, 1971; Stevens 1972a). Un incremento en estos dos constituyentes orgánicos resultan en un consecuente aumento en la intensidad del flavor (Stevens *et al.*, 1977; Jones y Scott, 1984; Baldwin *et al.*, 1998; Grierson y Kader, 1986). Particularmente cuando aumenta la concentración de los azúcares, la aceptabilidad en el flavor aumenta significativamente (Malundo *et al.*, 1995). Un valor alto de esta relación correlaciona con sabor suave, mientras que valores bajos con sabor ácido (Scott y Walls, 1947). Adicionalmente, en una evaluación de calidad sensorial de frutos de tomate, Kader *et al.* (1978) encontraron un mayor aroma y sabor (flavor) a valores de más de 5.6% de sólidos solubles totales y con 0.29 a 0.32% de acidez titulable. Del mismo modo, Al-Mughrabi (1994) aludiendo al flavor, encontró una mayor relación SST/acidez titulable (10) en frutos madurados en la planta, comparado con aquellos frutos cosechados en la etapa de verde maduro.

Por otra parte, la salinidad de 3 a 9 dS m<sup>-1</sup> afectan significativamente la relación SST/AT, obteniendo el mayor valor a 6 y 9 dS m<sup>-1</sup> (Al-Yahyai *et al.*, 2010).

### **pH**

La acidez titulable y el pH no están directamente relacionados, dado que el pH depende de la concentración de iones hidrógeno libres y de la capacidad tampón del jugo extraído; sin embargo, el pH constituye una medida útil y de fácil obtención con ayuda de un pH metro y se emplea en la enológica como índice de calidad del mosto (Wills *et al.*, 1998). Cameron y Esty (1940) hacen una clasificación de los alimentos según su acidez (**Cuadro 11**). No obstante varios autores señalan un promedio entre pH 3.78-5.25 (Davies y Hobson, 1981; Chamarro, 1995; Turhan y Seniz, 2009).

García y Barret (2006) señalan que el pH es muy importante porque influye en la acidez y en las condiciones de procesamiento térmico requerido para la producción de alimentos seguros y aunque el pH del tomate maduro puede exceder de 4.6, los productos del tomate son generalmente clasificados como alimentos ácidos. Sin embargo, un pH 4.4 es sugerido como máximo para evitar un deterioro potencial causado por microorganismos anaeróbicos butíricos y

termofílicos y un pH 4.25 como valor óptimo para el procesamiento de tomates (Salunkhe *et al.*, 1974; Monti 1980); en cambio, si el pH es más de 5, se dificulta eliminar los microorganismos.

**Cuadro 11.** Clasificación de los alimentos según su acidez (Cameron y Esty, 1940)

<b>Grupos por grado de acidez</b>	<b>Rango pH</b>	<b>Alimentos</b>
Poco ácidos	$\geq 5$	Hortalizas
Semiácidos	$4.5 \leq \text{pH} \leq 5.0$	Vegetales
Ácidos	$3.7 \leq \text{pH} \leq 4.5$	Tomates, peras, Higos, Piña
Muy ácidos	$\text{pH} \leq 3.7$	Pomelo, zumos cítricos

La disminución del pH ayuda básicamente en dos formas a la preservación de alimentos; y disminuye el periodo de necesidades de calentamiento para la esterilización durante el procesamiento (Stevens, 1972b).

### **Flavor**

El flavor es una combinación del sabor y aromas de muchos constituyentes químicos, con respuestas sensoriales en la boca y el olfato (Kader, 1986; Wills *et al.*, 1998; Mattheis y Fellman, 1999; Yilmaz, 2001). De acuerdo con Salunkhe *et al.* (1974) existe una relación entre el tipo de sabor que una sustancia tiene y su constitución química. En base a estudios psicológicos, las cuatro sensaciones de sabor son: acidez de los ácidos; salado de sales; dulzura de los azúcares; y amargosos de sustancias orgánicas de largas cadenas y alcaloides. Mientras que el aroma está constituido de varios compuestos volátiles dentro del cual se han identificado más de 400 compuestos, pero solo alrededor de 30 están presentes en concentraciones de más de 1 ppb (Petro-Turza, 1986; Buttery, 1993)

Así mismo, los tomates cosechados en las primeras etapas de madurez y subsecuentemente madurados en cuartos de temperatura controlada, tienen un impacto negativo en el flavor, ya que son menos dulces, más ácidos, tienen menos ácido ascórbico reducido, varían en la composición de compuestos volátiles y tienen mal sabor comparados con aquellos frutos cosechados en la madurez de consumo (Kader *et al.*, 1977).

Existe una complejidad de factores que determinan el sabor y la calidad del fruto de tomate. Estos factores pueden ser agrupados básicamente en tres categorías: 1) genéticos en la selección del tipo y variedad; 2) ambientales; y 3) manejo del cultivo donde se incluye la nutrición, las prácticas culturales y la aplicación de agroquímicos, entre otros (Mattheis y Fellman, 1999; Scott, 2001). Pero la identificación del sabor del tomate fresco es esencial para la identificación de marcadores genéticos y mejorar la calidad del tomate (Yilmaz, 2001).

Si el sabor del tomate guarda una relación directa con su composición química, especialmente con los azúcares y ácidos orgánicos que van a variar dependiendo de la especie considerada y el grado de madurez. Entonces las variaciones en las concentraciones de azúcares y ácidos contribuyen significativamente a las variaciones en el sabor, siendo el sabor más intenso a mayores concentraciones de estos compuestos (Stevens *et al.*, 1977; Malundo *et al.*, 1995; Gómez y Camelo, 2002; Mikkelsen, 2005). Por su parte, Auerswald *et al.* (1999), encontraron una mayor intensidad de los atributos del sabor en frutos de tomate cultivados a 6 dS m<sup>-1</sup>, con respecto a una CE de 1 dS m<sup>-1</sup> de la solución nutritiva.

### **Tamaño y forma**

La preferencia para un tamaño dado de tomates varía entre los consumidores y depende de algún grado de la utilización prevista de los frutos. Del mismo modo, su forma y tamaño varía enormemente entre los cultivares, pudiendo ser esférico, ovalado, alargado o tipo pera (Kader, 1986). Por lo tanto, en tomates para exportación a Estados Unidos de América se deben cumplir las normas de acuerdo a los tamaños establecidos en el **Cuadro 12**.

**Cuadro 12.** Tamaño de fruto de tomate para exportación a Estados Unidos de América.

Categoría	Tamaño (pulgadas)	
	Mínimo	Máximo
Pequeño	2-4/32	2-9/32
Mediano	2-8/32	2-17/32
Grande	2-16/32	2-25/32
Extra Grande	2-24/32	

Fuente: (USDA, 1991).

## **Composición del fruto**

El fruto está conformado básicamente por la epidermis, el pericarpo, tejido placentario, la cavidad locular, los haces vasculares que rodean al fruto y las semillas (Ho y Hewitt, 1986). El pericarpo está formado por un exocarpo, un mesocarpo parenquimático con haces vasculares y un endocarpo constituido por una capa unicelular que rodea a los lóculos. Los lóculos contienen a las semillas rodeadas por una masa gelatinosa de células de paredes delgadas de tipo parenquimático que llenan las cavidades loculares cuando el fruto está maduro. El tamaño final del fruto está estrechamente correlacionado con el número de semillas (50-200) y el número de lóculos (>2); aunque aún no se sabe con certeza si el crecimiento del fruto está regulado directamente por las semillas o indirectamente por la auxina producida por las semillas, pero se considera que el crecimiento del pericarpo está relacionado positivamente con la actividad de las auxinas en el fruto, mientras que el crecimiento del tejido de la cavidad locular es afectado por el desarrollo de las semillas (Chamarro, 1995).

La maduración del fruto es un proceso complejo bioquímico en el cual el contenido de clorofila y almidón son disminuidos y el ablandamiento enzimático por la poligalacturonasa y el antioxidante licopeno, incrementan (Benton Jones, 2008).

En términos generales, los cambios que ocurren durante la maduración del fruto han sido descritos por Grierson y Kader (1986) como a continuación se indica:

- Degradación del almidón y producción de glucosa y fructosa
- Degradación de la clorofila
- Transformación de cloroplastos en cromoplastos
- Síntesis de pigmentos tales como: licopeno y  $\beta$ -caroteno
- Incremento de pectinas solubles resultado de la degradación y ablandamiento de la pared celular por acción de la pectin esterasa y poligalacturonasa
- Producción de compuestos del flavor
- Incremento en la relación ácido cítrico/ácido málico
- Incremento del contenido de ácido glutámico
- Degradación del alcaloide tóxico tomatina

De acuerdo con Salunkhe *et al.* (1974), la composición de los frutos de tomate depende de factores tales como cultivares, madurez, luz, temperatura, estación, clima, fertilidad, riego y las prácticas culturales que van a influir en la velocidad y concentración de cada uno de sus componentes, dentro de los cuales se pueden agrupar en dos grandes grupos: Volátiles y los no volátiles. En el primero podemos encontrar a los compuestos responsables del aroma, mientras que en el segundo se encuentran los azúcares, ácidos orgánicos, vitaminas y aminoácidos, minerales, pigmentos, polisacáridos y fenoles, principalmente.

### **Azúcares**

Davies y Hobson (1981), señalan que después del agua, los azúcares forman el siguiente constituyente más importante del fruto del tomate, representando aproximadamente el 50% del contenido de materia seca total y desde el 53-65% de los sólidos solubles totales de variedades comerciales. Los azúcares libres son casi en su mayoría azúcares reductores, glucosa y fructosa con una preponderancia de la fructosa; mientras que la sacarosa también presente rara vez excede 0.1% del peso fresco. Así mismo, el contenido de azúcares incrementa progresivamente durante el proceso de maduración, pero con un aumento más notorio cuando el fruto pasa a la etapa verde-amarillo (**Cuadro 13 y 14**).

**Cuadro 13.** Azúcares en cinco etapas de madurez, en % de peso fresco.

Estructura	Etapa de madurez				
	Verde	Verde-amarillo	Amarillo-Anaranjado	Anaranjado	Rojo
Fruto entero	2.69	3.07	3.16	3.23	3.27
Cont. Locular	2.15	2.58	2.74	2.72	2.79
Cont. Paredes	2.87	3.13	3.28	3.22	3.55

Fuente: Davies y Hobson (1981)

El contenido de azúcares incrementa significativamente con el incremento en la radiación solar Winsor (1979). Así mismo, debe existir un efecto significativo en la restricción del número de hojas que alimentan al racimo, además del tipo de variedad donde se han reportado variaciones desde 1.66 a 3.99% de azúcares producidos tanto a campo abierto como en agricultura protegida (Davies y Hobson, 1981; Turhan y Seniz, 2009; Brunele *et al.*, 2010).



**Cuadro 14.** Glucosa y fructosa en el fruto en % de peso fresco (Davies y Hobson, 1981)

T. azúcar y Estructura	Etapa de madurez				
	Verde	Verde-amarillo	Amarillo-Anaranjado	Anaranjado	Rojo
Glucosa					
Paredes	1.61	1.71	1.74	1.69	1.62
Locular	1.05	1.25	1.21	1.23	1.22
Fructosa					
Paredes	1.68	1.87	1.87	1.68	1.70
Locular	1.26	1.55	1.56	1.59	1.60

Por otra parte, el índice refractivo de la savia del fruto de tomate es correlacionado con el contenido de sólidos totales ( $r \geq 0.95$ ) y ambas características reflejan el estatus de azúcares del fruto. En el intento por mejorar esta relación, se ha incluido la acidez titulable cubriendo un amplio rango de valores analíticos (azúcares 1.2-4.3 g 100 ml<sup>-1</sup>; sólidos totales 2.9-6.3 g 100 ml<sup>-1</sup>; y acidez 5.8-13.6 meq 100 ml<sup>-1</sup>), obteniéndose la ecuación siguiente (Davies y Hobson, 1981):

$$\text{Azúcares} = -0.26 + 0.9(\text{sólidos totales}) - 0.124(\text{acidez titulable})$$

Auerswald *et al.* (1999), encontraron efectos significativos por incrementos de la CE de 1- 6 dS m<sup>-1</sup> en la solución nutritiva del cultivo de tomate en hidroponía, correspondiendo la mayor concentración de azúcares reductores (35.05 mg g<sup>-1</sup> de peso fresco) a los frutos de tomate cultivados a 6 dS m<sup>-1</sup>.

### Ácidos orgánicos

Como uno de los principales componentes del sabor, generalmente los ácidos orgánicos comprenden 1/10 de los sólidos solubles totales (Frenkel y Jen, 1989). Estos se pueden dividir en 4 grupos principales. Los valores de estos ácidos son comúnmente expresados como miliequivalentes por unidad de peso fresco ó volumen de jugo del fruto. Los ácidos más abundantes en el fruto de tomate son el cítrico y málico, con 9% y 4% respectivamente en términos de materia seca. En los frutos inmaduros, predomina el ácido málico, mientras que el ácido cítrico forma solamente el 25% de la acidez total. No obstante, conforme avanza la

madurez, el ácido cítrico aumenta considerablemente hasta alcanzar un pico de concentración en la etapa de verde amarillo y contrariamente a éste, el ácido málico empieza a declinar rápidamente en las diferentes estructuras del fruto y por lo tanto, como resultado de sus diferentes tasas de cambio durante la maduración, la relación ácido málico a ácido cítrico disminuye gradualmente (Davies y Hobson, 1981).

Invariablemente, la acidez cambia significativamente de 0.22 a 1.0% en las diferentes variedades de tomate producidos en condiciones protegidas y a campo abierto (George *et al.*, 2004; Turhan y Seniz, 2009; Juárez-López *et al.*, 2009; Brunele *et al.*, 2010). Así mismo, podría esperarse una alta asociación entre la acidez titulable y el pH, pero se han reportado muy bajas correlaciones (Anderson, 1957; Lower y Thompson, 1967; Sapers *et al.*, 1977). Por su parte, Mitchell *et al.* (1991) encontraron un mayor contenido de ácidos orgánicos y acidez titulable en frutos de tomate procedentes de plantas tratadas con aguas salinas.

### **Vitaminas y aminoácidos**

**Vitamina C (ácido ascórbico).** Se ha estimado que el tomate provee una tercera parte de esta vitamina en la dieta diariamente recomendada en E. U. y un 5.9% en Inglaterra. En tejido vegetal el ácido ascórbico está presente principalmente en la forma reducida (ácido L-ascórbico). Su principal producto de la oxidación es el ácido L-dehidroascórbico, el cual es inestable y nuevamente pasa a la forma reducida tanto en el tejido vegetal como en el cuerpo animal. El producto oxidado a veces puede ser irreversiblemente convertido en ácido 2,3-dioxo-L-gulonico. El contenido de ácido ascórbico reducido es de 10-30 mg 100 g<sup>-1</sup> de tejido fresco en frutos de tomate (Matthews *et al.*, 1973; Davies y Hobson, 1981; Brunele *et al.*, 2010). Además del ácido ascórbico, el fruto de tomate es rico en vitaminas A, B y E (**Cuadro 15**).

Actualmente es considerada en el proceso de mejoramiento genético, ya que la vitamina C es un antioxidante natural y desempeña un rol importante en los procesos bioquímicos, tales como formación de colágeno, absorción de hierro y está envuelto en respuestas inmunes y de neurotransmisión; además de actuar en la prevención del escorbuto y el mantenimiento de la piel y vasos sanguíneos (Lee y Kader, 2000; Radzevicius *et al.*, 2009).

**Cuadro 15.** Vitaminas en frutos de tomate maduro crudo (Davies y Hobson, 1981).

Vitamina	Concentración ( $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ peso fresco)
A ( $\beta$ -caroteno)	540-763
B1(tiamina)	50-60
B2 (riboflavina)	20-50
B3 (ácido pantoténico)	310-700
B6	80-110
Ácido nicotínico (niacina)	500-700
Ácido fólico	6.4-20
Biotina	1.2-4.0
E ( $\alpha$ -tocoferol)	40-1200

El fruto de tomate contiene alrededor de 20 aminoácidos esenciales, dentro de los cuales el ácido glutámico, ácido aspártico y ácidos  $\gamma$ -aminobutíricos, junto con la glutamina, comprenden el 80% del total de compuestos  $\alpha$ -amino conteniendo nitrógeno, en frutos madurados en o fuera de la planta, haciendo el ácido glutámico la mayor contribución (**Cuadro 16**).

### **Minerales**

Aunque los elementos minerales representan una pequeña fracción de la materia seca del fruto, todos ellos juegan un rol importante en la composición nutricional y calidad final del producto (Salunkhe *et al.*, 1974). Los minerales constituyen alrededor del 8% del contenido de material seco del tomate. De estos el potasio y fósforo son los principales. Los minerales tienen un efecto en el pH y acidez titulable, además de su capacidad buffer, afectando entonces el sabor (Petro-Turza, 1986). Así mismo, se encuentran otros elementos tales como calcio, magnesio, sodio, cloro y azufre, entre algunas traza de micronutrientes (**Cuadro 17**).

**Cuadro 16.** Aminoácidos libres en fruto de tomate maduro.

Aminoácido	Concentración (mg 100 g <sup>-1</sup> ó mL <sup>-1</sup> )	
	Tejido fresco	Jugo
α-alanina	3.05	6.9
Ác. γ-aminobutírico	55.7	71.0
Arginina	5.25	3.8
Asparagina	---	10.1
Ác. Aspártico	51.25	43.4
Glutamina	---	62.9
Ác. glutámico	246	112.8
Glicina	1.7	1.1
Histidina	4.5	5.0
Isoleucina	3.2	2.9
Leucina	2.7	3
Licina	7.6	3.6
Metionina	0.5	1.5
Fenilalanina	7.2	6.7
Prolina	1.6	---
Serina	5.7	11.8
Treonina	6.5	6.8
Triptofano	---	1.3
Tirosina	2.6	1.7
Valina	1.4	1.6

Fuente: Adaptado de Davies y Hobson (1981)

### **Compuestos volátiles**

En este grupo, se encuentran los compuestos responsables del aroma, donde alrededor de 400 compuestos volátiles han sido identificados en el fruto de tomate (Petro-Turza, 1986). De estos solamente 30 están presentes en concentraciones de más de 1 ppb, de los cuales solamente 16 compuestos tienen unidades de odor de registro positivo (del inglés positive log odor units), probablemente contribuyendo al flavor del tomate (**Cuadro 18**) (Buttery, 1993).

**Cuadro 17.** Elementos minerales en frutos maduros (adaptado de Davies y Hobson, 1981).

Elemento	Concentración (mg 100 g <sup>-1</sup> peso fresco)
Potasio	258.5
Cloro	51
Fósforo	24
Calcio	12
Magnesio	11
Azufre	11
Sodio	5

Los compuestos volátiles más importantes en el aroma del tomate han sido identificados como: hexanal, *cis*-3-hexenal, *trans*-2-hexenal, hexanol, *cis*-3-hexenol, 2-isobutiazol, 6-metil-5-hepten-2-one,  $\beta$ -ionon,  $\beta$ -damascenon, geranilceton, 1-penten-3-one, 3-metilbutanal, 3-metilbutanol, 2-feniletanol, 2-pentenal, 4-hidroxi-2,5-dimetil-3-(2*H*)-furanone (Furaneol®), metional, 1-octen-3-one, guaiacol, (*E,E*)- and (*E,Z*)-2,4-decadienal and *trans* y *cis*-4,5-epoxi-(*E*)-2-decenal, (*Z*)-1,5-octadien-3-one, fenilacetaldehído, acetona, etanol y metanol (Buttery y Ling, 1993; Yilmaz, 2001; Mayer *et al.*, 2002). Adicionalmente, Tandon *et al.* (2001) encontró compuestos odor activo con su respectivo descriptor tales como: 1-octen-3-one (setas de suelo), furaneol (como caramelo), linalol (como perfume) metional (papa), citral (floral) y *trans*, *trans*-2,4-decadienal (medicinal), los cuales pueden ser contribuyentes importantes al aroma del tomate. Mientras que Krumbein y Auerswald (1998) señalan al 1-octen-3-one como uno de los volátiles odor activo más importantes en el tomate fresco.

### **Polisacáridos**

La fibra es una mezcla de lignina y polisacáridos de la pared celular vegetal, el cual no es hidrolizado por las secreciones del tracto digestivo humano, y constituye la mayor parte de los sólidos insolubles en alcohol (SIA). Los SIA varían a lo largo del periodo de maduración del fruto desde la etapa verde maduro al rojo con una tendencia a la disminución (**Cuadro 19**). Los principales constituyentes de la pared celular del fruto de tomate, son: sustancias pécticas, celulosas, hemicelulosas y proteínas (**Cuadro 20**).

**Cuadro 18.** Volátiles en tomate fresco  $\geq 1$  ppb y su umbral de odor en agua (Buttery, 1993).

Volátil	Concentración (ppb)	Umbral de odor (ppb)	Unidad de registro odor
<i>cis</i> -3-Hexenal	12,000	0.25	3.7
$\beta$ -Ionon	4	0.007	2.8
Hexanal	3,100	4.5	2.8
$\beta$ -Damascenon	1	0.002	2.7
1-Penten-3-on	520	1.0	2.7
3-Metilbutanal	27	0.2	2.1
<i>trans</i> -2-Hexenal	270	17.0	1.2
2-Isobutiliazol	36	3.5	1.0
1-nitro-2-feniletano	17	2.0	0.9
<i>trans</i> -2-Heptenal	60	13.0	0.07
Fenilacetaldehido	15	4.0	0.6
6-metil-5-Hepten-2-on	130	50.0	0.4
<i>cis</i> -3-Hexenol	150	70.0	0.3
2-Feniletanol	1,900	1000.0	0.3
3-Metilbutanol	380	250.0	0.2
Salicilato de metilo	48	40.0	0.008
Geranilcetona	57	60.0	-0.02
$\beta$ -Ciclocitral	3	5.0	-0.2
1-nitro-3-metil-Butano	59	150.0	-0.4
Geranial	12	32.0	-0.4
Linalool	2	6.0	-0.5
1-Penten-3-ol	110	400.0	-0.6
<i>trans</i> -2-Pentenal	140	1,500.0	-1.0
Neral	2	30.0	-1.2
Pentanol	120	4,000.0	-1.5
Pseudoionon	10	800.0	-1.9
Cianuro de isobutilo	13	1,000.0	-1.9
Hexanol	7	500.0	-1.9
Epoxi- $\beta$ -ionon	1	100.0	-2.0

**Cuadro 19.** Contenido SIA de fruto de tomate ( $\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$  peso fresco).

Estructura de fruto	Etapa de madurez				
	Verde maduro	Verde amarillo	Amarillo anaranjado	Anaranjado	Rojo
Paredes	2.76	2.40	2.19	2.15	1.87
Lóculos s/sem.	1.28	0.97	0.98	0.85	0.8
Fruto entero	3.03	2.71	2.56	2.38	2.22

Fuente: Davies y Hobson (1981).

**Cuadro 20.** Composición de la pared celular de frutos de tomate maduro.

Compuesto	Concentración ( $\text{mg } 100 \text{ mg}^{-1}$ )
Lignina	6.4-6.6
$\alpha$ -celulosa	26.4-28.9
Sustancias pécticas	13.1-19.2
Hemicelulosa	26.0-26.6
Proteínas	9.5-18.6

Fuente: Davies y Hobson (1981).

### **Fenoles**

Existen pocos reportes de los constituyentes fenólicos. En orden de importancia por su concentración en el fruto entero de tomate maduro, destacan por su concentración: el ácido caféico (determinado por el aglicon), la naringenina, el ácido clorogénico, el ácido *p*-cumárico y la rutina, entre otros (Davies y Hobson, 1981).

### **Pigmentos (carotenoides)**

En general, los carotenoides son compuestos constituidos de ocho unidades isoprenoides cuyo orden se invierte en el centro de la molécula. Todos los carotenoides derivados del licopeno ( $\text{C}_{40}\text{H}_{56}$ ), presentan reacciones que implican: (1) hidrogenación, (2) deshidrogenación, (3) ciclación, (4) inserción de oxígeno, (5) migración de doble enlace, (6) migración del metilo, (7) alargamiento de la cadena y (8) acortamiento de la cadena. Los carotenoides son clasificados por su estructura química como: (1) carotenoides que están compuestos por carbono e hidrógeno; (2)

oxycarotenoides o xantofilas que tienen en su estructura carbono, hidrógeno y adicionalmente oxígeno (Delgado-Vargas *et al.*, 2000).

En las plantas, la biosíntesis de los isoprenoides se realiza mediante dos rutas: la ruta clásica del mevalenato acetato que ocurre en el citoplasma para la síntesis de esteroides, sesquiterpenos y triterpenos; y la ruta no mevalónica 1-deoxy-D-xilulosa-5-fosfato (del inglés DOXP) la cual se realiza en los plastidios para la biosíntesis de isoprenoides, tales como carotenoides, fitol, 9-plastoquinona, isoprenos, mono y diterpenos. Ambas rutas forman la unidad activa de 5C isopentenil difosfato (IPP) (**Figura 7**) como el precursor del cual todos los isoprenoides son formados vía adición cabeza a cola (Lichtenthaler, 1999).



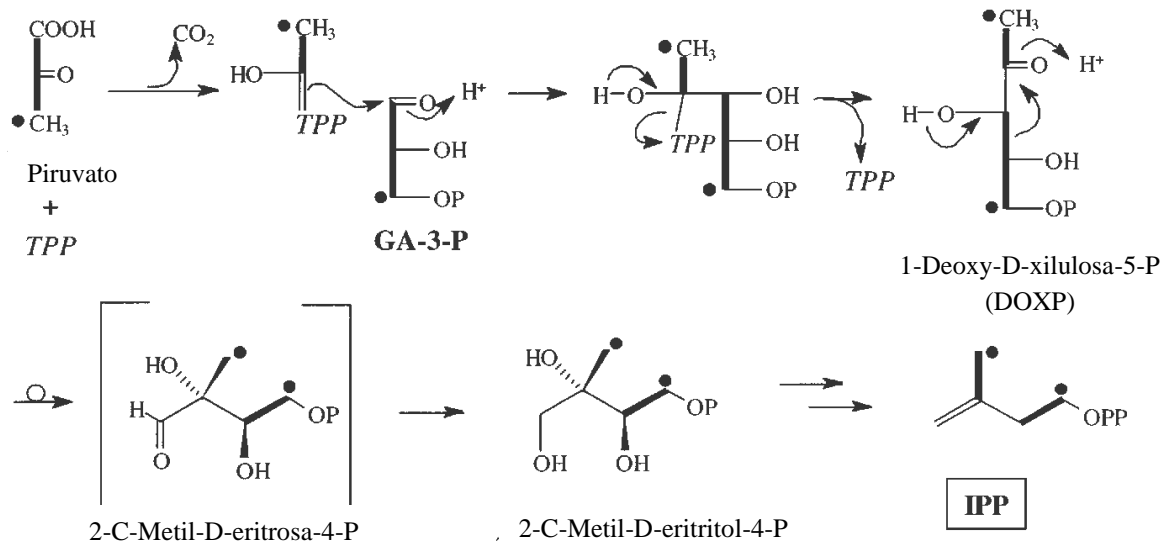
**Figura 7.** Unidad de isopreno (isopentenil difosfato ó pirofosfato).

La nueva ruta DOXP de biosíntesis de IPP ahora ha sido establecida inequívocamente en eubacterias, cianobacterias, varios grupos de algas y las plantas superiores. En las plantas superiores, es más responsable para la formación hemiterpenos, diterpenos, monoterpenos; sesquiterpenos, así como el sustrato principal para la síntesis de carotenoides (Lichtenthaler, 1998 y 1999).

Los sustratos iniciales de la ruta DOXP son gliceraldehido-3-fosfato (GA-3-P) y piruvato. En una reacción tipo transcetolasa dependiente de tiamina, una Unidad de 2C derivado del piruvato (hidroxietil-tiamina) es transferido al GA-3-P por el cual DOXP es formado. Este paso es catalizado por la enzima DOXP-sintasa o DXS. En los pasos posteriores que todavía no están plenamente aclarados DOXP es transformado a IPP, posiblemente vía 2-C-metil-D-eritrosa-4-fosfato y 2-C-metil-D-eritritol-4-fosfato (**Figura 8**). Estos pasos de DOXP a IPP requiere varias



reductasas, deshidratasas y una quina, y como cofactores tres NADPH y una ATP. Esta transformación de DOXP a IPP está basada en un rearrreglo intramolecular del esqueleto de carbono, por el cual la unidad de 2C de DOXP, originado del piruvato, es insertado entre los átomos de carbono 1C y 2C del gliceraldehido-3-fosfato (Lichtenthaler, 1999).

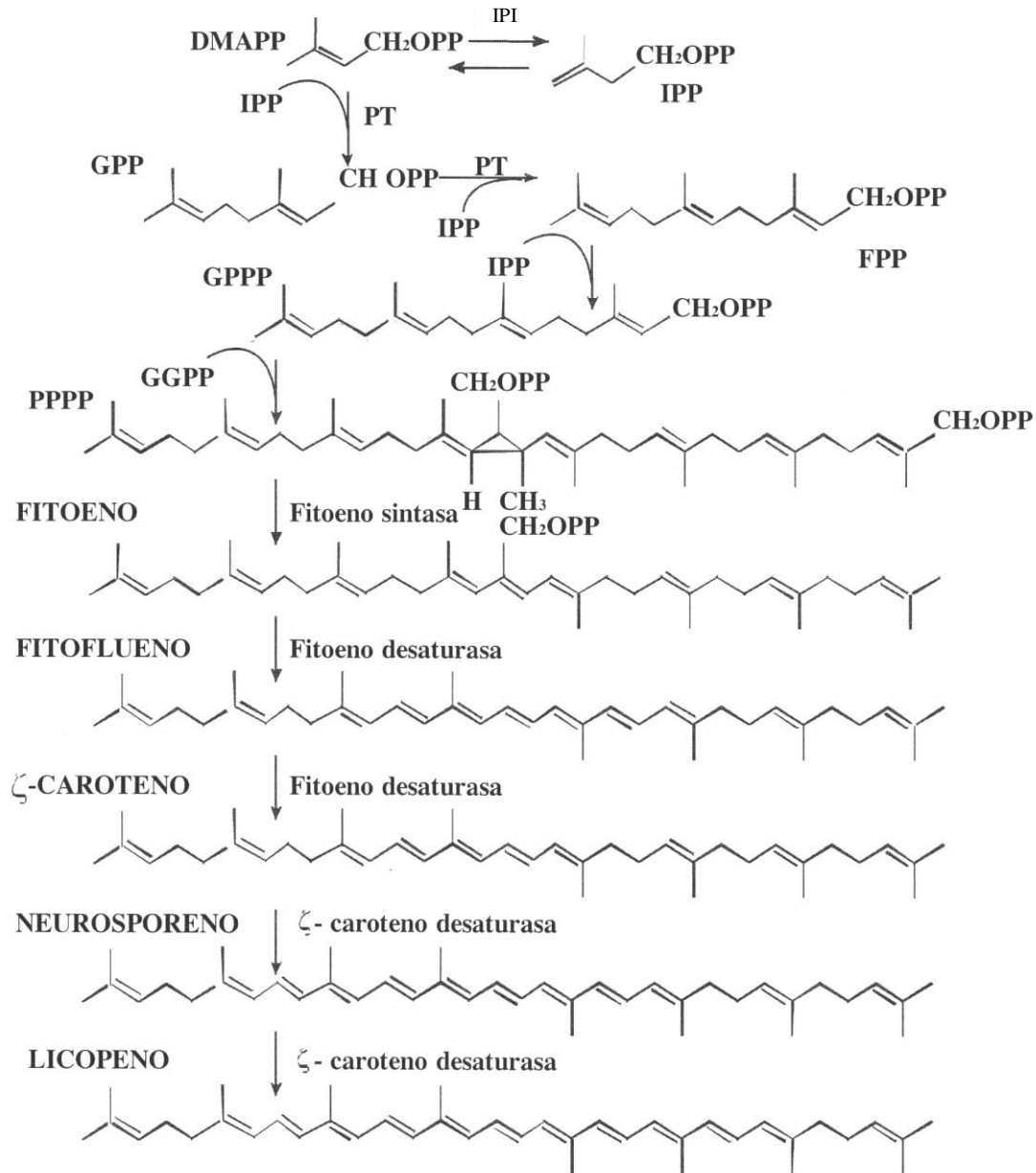


**Figura 8.** Pasos y posibles intermediarios en la biosíntesis dependiente-(TPP) de tiamina del IPP desde el piruvato y GA-3-P (Lichtenthaler, 1999).

Posteriormente, se lleva a cabo la condensación del dimetilalil pirofosfato DMAPP con el IPP para formar geranil pirofosfato GPP el cual se condensa con otra molécula de IPP para generar farnesil pirofosfato FPP y la adición de una tercera molécula de IPP da origen al geranilgeranil pirofosfato GGPP (Figura 3); la condensación de todas estas moléculas son catalizadas por un grupo de enzimas llamadas preniltransferasas que dirigen el ataque de un carbocation a un átomo de carbono rico en electrones del doble enlace de la molécula de IPP (Chappell, 1995).

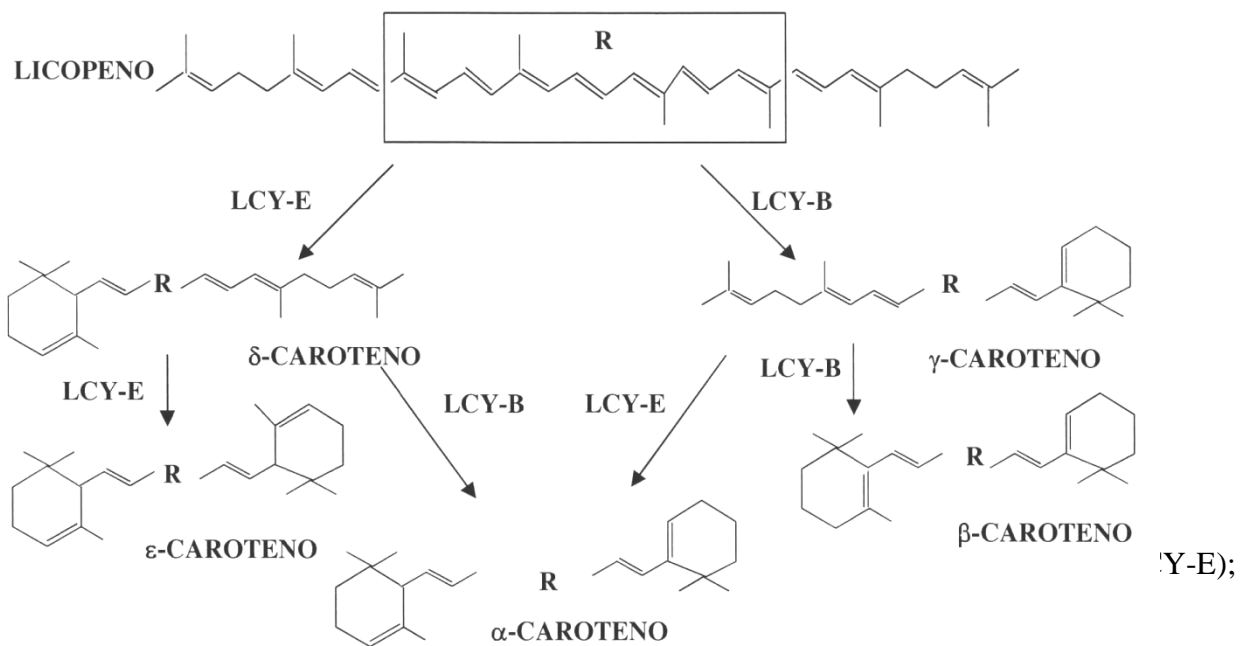
La biosíntesis de los carotenoides se presenta a partir de la condensación de dos moléculas de GGPP por acción de la enzima fitoeno sintasa (PSY). La reacción enzimática da lugar a la formación del fitoeno; el fitoeno es un producto incoloro, que consta de 40 átomos de carbono. En las etapas posteriores conducentes a la síntesis de los carotenoides con color, se presentan cuatro desaturaciones del fitoeno, por acción de la enzima fitoeno desaturasa (PDS) la cual

cataliza las dos primeras desaturaciones de fitoeno y fitoflueno a  $\zeta$ -caroteno, mientras que la conversión de  $\zeta$ -caroteno a neurosporeno y posteriormente a licopeno es realizada por la acción de la enzima  $\zeta$ -caroteno desaturasa (**Figura 9**) (Fraser y Bramley, 2004).



**Figura 9.** Biosíntesis de licopeno. Isopentenil pirofosfato (IPP); Isopentenil pirofosfato isomerasa (IPI); Prenil transferasa (PT); Dimetilalil pirofosfato (DMAPP); Geranil pirofosfato (GPP); Farnesil pirofosfato (FPP); Geranilgeranil pirofosfato (GGPP); y Prefitoeno pirofosfato (PPPP) (Del Villar-Martínez *et al.*, 2007).

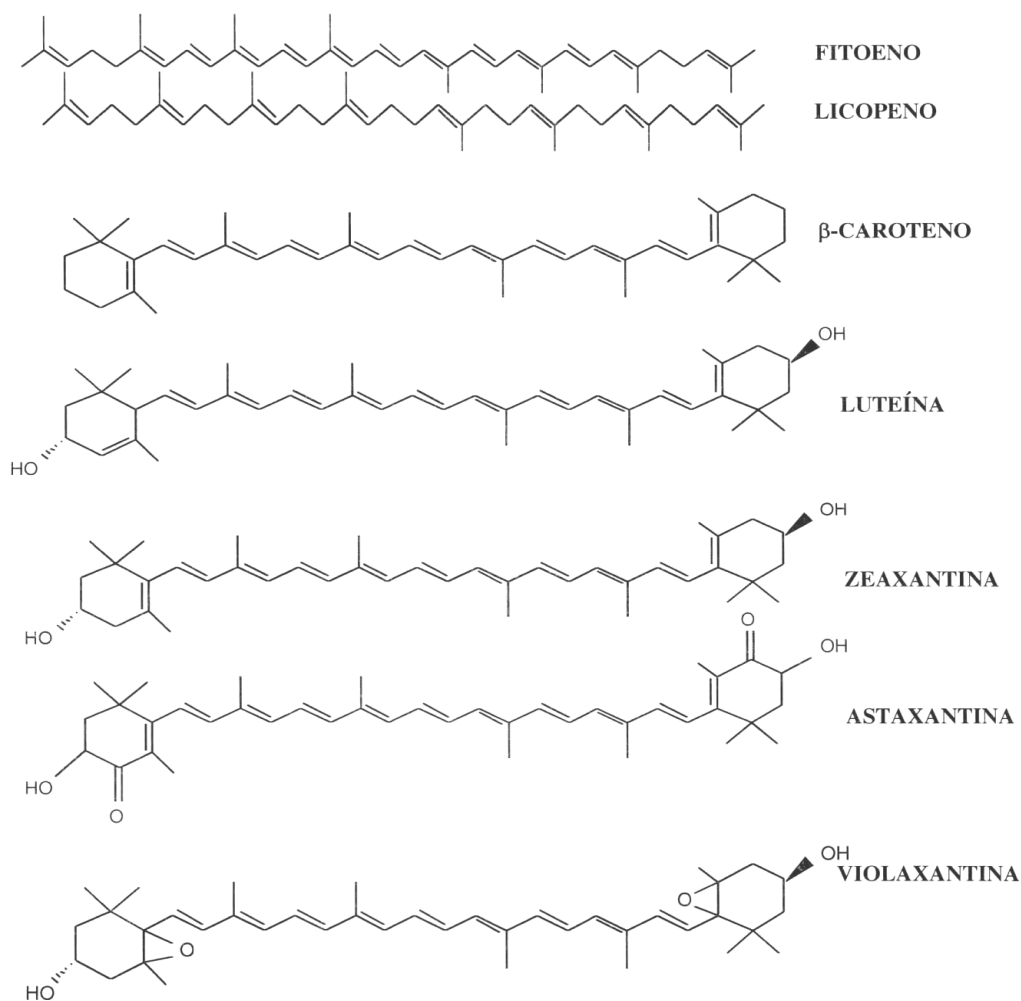
Por otra parte, la ciclación es un punto de ramificación dentro del proceso de biosíntesis de carotenoides (Tanaka *et al.*, 2008) donde el licopeno es usado como sustrato y el NADPH como cofactor requerido (Beyer *et al.*, 1991). La ciclación está limitada a la formación de grupos terminales compuestos de un anillo de seis unidades en uno ó ambos extremos del precursor licopeno. Los grupos terminales presentan anillos  $\alpha$  y  $\beta$ -ionon, estos solamente difieren por la posición de un doble enlace dentro del anillo ciclohexano y el tipo de grupo terminal depende de la naturaleza de la enzima ciclasa (Fraser y Bramley, 2004). Estas enzimas son la licopeno- $\beta$ -ciclasa (LCY-B), la cual introduce el anillo- $\beta$  (Pecker *et al.*, 1996) y la licopeno- $\epsilon$ -ciclasa (LCY-E) que introduce el anillo- $\epsilon$  (Cunningham y Gantt, 2001), ambas ciclasas se han identificado en tomate (Ronen *et al.*, 1999 y 2000). Como producto de la acción de estas enzimas sobre el licopeno, se obtiene la síntesis de los carotenos  $\alpha$ ,  $\beta$ , y/o  $\epsilon$  y xantofilas (**Figura 10 y 11**).



**Figura 10.** Biosíntesis de carotenoides cíclicos a partir del licopeno. Licopeno  $\epsilon$ -ciclasa (LCY-E); Licopeno  $\beta$ -ciclasa (LCY-B) (Del Villar-Martínez *et al.*, 2007).

Cuando la enzima  $\beta$ -licopeno ciclasa actúa en ambos lados de la molécula, ocurre la formación de  $\beta$ -caroteno, el cual es precursor de xantofilas y estas se producen cuando uno o más átomos de oxígeno en grupos ceto, hidroxilo, epoxi, etc., se introducen a la molécula del caroteno

(Cunningham *et al.*, 1996; Ronen *et al.*, 1999). Mientras que la enzima  $\epsilon$ -licopeno ciclasa solamente puede incorporar un  $\epsilon$ -anillo para formar  $\delta$ -caroteno, dando paso al mismo tiempo a la formación de  $\epsilon$ -caroteno por otra ciclación de la misma enzima. Así mismo, tanto la  $\gamma$ -caroteno, como la  $\delta$ -caroteno pueden sufrir una ciclación más por ambas enzimas y formar  $\alpha$ -caroteno (Fraser y Bramley, 2004).



**Figura 11.** Estructura de algunos carotenoides cíclicos y acíclicos (conformación mas estable, todo trans) (Del Villar-Martínez *et al.*, 2007).

Otro grupo de carotenoides tiene un anillo  $\beta$  y un anillo  $\epsilon$  en su estructura, los cuales son precursores de varias xantofilas, dentro de las cuales la luteína es común en plantas y algas (Cunningham *et al.*, 1996).

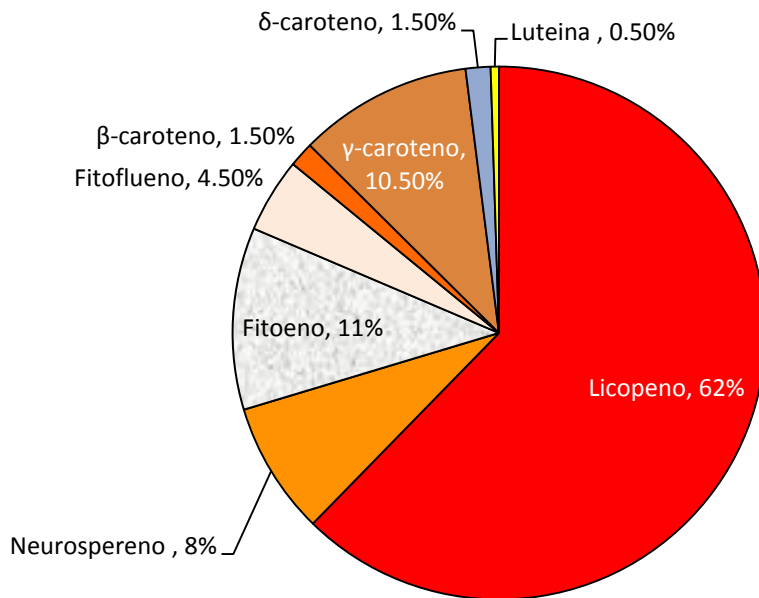
Los carotenoides son sintetizados y acumulados en plastidios y aunque todos estos tienen carotenoides, los más altos niveles de estos pigmentos son encontrados en los cloroplastos y cromoplastos. Los cromoplastos son plastidios especializados para acumular grandes cantidades de carotenoides y son responsables de los colores amarillo brillante y rojo de muchas especies de flores y frutos (Giuliano *et al.*, 1993).

El color rojo es el resultado de la degradación de la clorofila, así como de la síntesis de licopeno y otros carotenoides, conforme los cloroplastos son convertidos en cromoplastos durante el proceso de maduración del fruto de tomate (Fraser *et al.*, 1994).

La biosíntesis de carotenoides y su regulación durante el desarrollo del fruto y maduración del tomate es un proceso complejo que ocurre junto con la diferenciación de los cloroplastos en cromoplastos y los cambios en las propiedades organolépticas del fruto. Excepcionalmente para las plantas, el fruto de tomate maduro acumula grandes cantidades de licopeno, conforme el patrón de expresión genética encontrado en el fruto verde cambia durante la maduración (Bramley, 2002). Durante este proceso, diferentes colores están presentes simultáneamente desde que la clorofila es degradada del verde a compuestos incoloros, al mismo tiempo que los carotenoides son sintetizados desde el precursor incoloro (fitoeno) a  $\zeta$ -caroteno (amarillo pálido), licopeno (rojo),  $\beta$ -caroteno (anaranjado) y xantofilas y/o carotenoides hidroxilados (amarillo) (Giuliano *et al.*, 1993). De este modo, el fruto de tomate maduro acumula un perfil promedio de carotenoides en diferentes proporciones donde destaca el licopeno (**Figura 12**).

Durante la maduración del fruto de tomate hay un incremento en el contenido de carotenoides, principalmente debido a la acumulación de licopeno y  $\beta$ -caroteno, pero predominando el primero. La alta cantidad de licopeno encontrado en el fruto maduro, indica que solo una proporción de este puede ser ciclado a  $\beta$ -caroteno en los cromoplastos. Además, las xantofilas disminuyen conforme el proceso de maduración progresa, mientras que el licopeno y  $\beta$ -caroteno

incrementan 282 y 11 veces respectivamente desde la etapa verde inmaduro hasta el sobremaduro; así mismo, la relación caroteno:xantofila cambia de 0.26 en frutos verde inmaduro a 14.4 en frutos rojo firme; reflejando ambos cambios cualitativos y cuantitativos la síntesis de carotenoides en el fruto de tomate desde el verde inmaduro (Vi), verde maduro (Vm), rallado o estrellado (R), rojo firme (Rj) y sobremaduro (Sm) (**Cuadro 21**) (Fraser *et al.*, 1994).



**Figura 12.** Perfil de carotenoides en fruto de tomate maduro (adaptado de Clinton, 1998).

**Cuadro 21.** Carotenoides en la maduración del fruto de tomate (Fraser *et al.*, 1994).

Etapa del fruto	Carotenos							Xantofilas						Rel. Car:Xan	Carot. Totales
	P	PF	ζ-car I/II	L	γ-car	β-car	Total	Lut	Viola	Neo	P-X	Licop	Total		
Vi	0	0	0	0.25	0	3.3	3.55	9.2	0.9	3.4	0	0	13.5	0.26	17.1
Vm	0	0	0	0.1	0	2.1	2.2	4.7	1.7	1.5	0	0	7.9	0.28	10.1
R	1.9	0	0	3.7	0.4	5.6	11.6	1.5	0.4	1.1	0	1.3	4.3	2.70	15.9
Rf	9.5	1.9	22.0	46.0	3.5	25.3	108.2	3.8	0.9	0.9	0.6	1.3	7.6	14.40	115.0
Sm	40.6	22.2	7.5	70.5	11.3	36.8	189.0	6.4	2.3	2.3	6.4	0.4	17.8	10.60	207.0

Abreviaciones: P: 15-*cis*-fitoeno; PF: fitoflueno; ζ-car I/II: isómeros ζ-caroteno; N: neurospereno; L: licopeno; γ-car: γ-caroteno; β-car: β-caroteno; Lut: luteina; Viola: violaxantina; Neo: neoxantina; P-X: epoxido fitoeno; Licop: licofila; Car: carotenos; Xan: xantofilas. Valores en  $\mu\text{g g}^{-1}$  de peso fresco de fruto.

## LITERATURA CITADA

- Abad B. M. y P. Noguera M. 2000. Los sustratos en los cultivos sin suelo. In: M. Urrestarazu G. (Ed.). Manual de Cultivo sin Suelo. 2ª ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. pp.137-185
- Abad B. M., P. Noguera M. y C. Carrión B. 2004. Los sustratos en los cultivos sin suelo. In: M. Urrestarazu G. Tratado de cultivo sin suelo. 3ª Edición. Edit. Mundi-Prensa. Esp. pp. 113-141.
- Adams P. 1991. Effects of increasing the salinity of the nutrient solution with major nutrients or sodium chloride on the yield, quality and composition of tomatoes grown in rockwool. *The Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 66(2): 201-208.
- Al-Mughrabi M. A. 1994. A comparison between postharvest tomato quality of mature-green and red ripe stages produced in hydroponic. *J. King Saud Univ.* 6(2): 273-279.
- 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* 83-88.
- AMHPAC. 2010. Situación actual de la agricultura protegida en México. Fundación Produce Sinaloa A. C. [www.fps.org.mx/](http://www.fps.org.mx/). Consulta 15/01/2011.
- Anderson R. E. 1957. Factors affecting the acidic constituents of the tomato, Ph.D. Thesis, University of Illinois, USA. 63 p.
- Ansorena M. J. 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. Edit. Mundi-Prensa. Bilbao, Esp. pp. 36-39 y 45-47.
- ASERCA. 1998. Jitomate y Soya. *Claridades Agropecuarias* 62: 1-36.
- Auerswald H., D. Schwarz, C. Kornelson, A. Krumbein and B. BruÉckner. 1999. Sensory analysis, sugar and acid content of tomato at different EC values of the nutrient solution. *Scientia Horticulturae* 82: 227-242.
- Ayers R. S. and D. W. Westcot. 1985. Water quality for agriculture. FAO Irrigation and drainage paper 29 Rev. 1. Rome, Italy. 174 p.
- Baixauli S. C. y J. M. Aguilar O. 2002. Cultivo sin suelo de hortalizas. Aspectos prácticos y experiencias. Generalitat Valenciana. Consellería de Agricultura, Pesca y Alimentación. Valencia, Esp. 110 p.
- Baldwin E. A., J. W. Scott, M. A. Einstein, T. M. M. Malundo, B. T. Carr, R. L. Shewfelt and K. S. Tandon. 1998. Relationship between sensory and instrumental analysis of tomato flavor. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 123(5): 906-915.
- Benton Jones J. J. 2008. Tomato plant cultura in the field, greenhouse and home garden. Edit. CRC Press of Taylor Francis Group. Boca Raton Fl. USA. pp. 3, 10 y 105.
- Beyer P., U. Kröncke and V. Nievelstein. 1991. On the mechanism of the lycopene isomerase/cyclase reaction in *Narcissus pseudonarciss* L. chromoplasts. *The Journal of Biological Chemistry* 266(26): 17072-17078.
- Blaylock A. D. 1994. Soil salinity, salt tolerance and growth potential of horticultural and landscape plants. Cooperative Extension Service, Department of plant, soil and insect sciences, College of Agriculture, University of Wyoming. B-988.
- Bramley P. M. 2002. Regulation of carotenoid formation during tomato fruit ripening and development. *Journal of Experimental Botany* 53(377): 2107-2113.
- Brandt S., Z. Pek, E. Barna, A. Lugasi and L. Helyes. 2006. Lycopene content and colour of ripening tomatoes as affected by environmental conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86(4): 568-572.



- Brunele C. F. R., D. J. Henriques D. S., P. C. Stringheta, P. C. Rezende F., G. Rodríguez M. and E. Chartuni M. 2010. Quality of tomatoes grown under a protected environment and field conditions. *IDESIA* 28(2): 75-82.
- Bunt A. C. 1983. Physical properties on mixtures of peats and minerals of different particle size and bulk density for potting substrates. *Acta Horticulturae* 150: 143-153.
- Burés S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas. Esp. pp. 69 y 107.
- Buttery R. G. 1993. Quantitative and sensory aspects of flavor of tomato and other vegetables and fruits. In: T. E. Acree and R. Teranishi (Eds.). *Flavor Science: Sensible principles and techniques*. ACS, American Chemical Society, Washington, D.C. pp. 259-286.
- Buttery R. G. and L. C. Ling. 1993. Volatile components of tomato fruit and plant parts: relationship and biogenesis. In: R. Teranishi, R. G. Buttery and H. Sugisawa (Eds.). *Bioactive volatile compounds from plants*. ACS Symposium Series No. 525, American Chemical Society. Washington, D.C. pp. 23-34.
- Cabrera R. I. 1999. Propiedades, uso y manejo de sustratos de cultivo para la producción de plantas en maceta. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5(1): 5-11.
- Cameron E. J. and J. R. Esty. 1940. Comments on the microbiology of spoilage in canned foods. *Journal of Food Science* 5 (6): 549-557.
- 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.
- Casierra-Posada F. y O. E. Aguilar-Avenidaño. 2008. Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. *Agronomía Colombiana* 26(2): 300-307.
- Castellanos J. Z. y C. Borbón M. 2009. Panorama de la horticultura protegida en México. In: J. Z. Castellanos (Ed). *Manual de producción de tomate en invernadero*. Intagri, S. C. México. pp. 1-18.
- Castellanos J. Z. y P. Vargas-Tapia. 2003. El uso de sustratos en la horticultura bajo invernadero. In: J. J. Muñoz-Ramos y J. Z. Castellanos (Eds.). *Manual de producción hortícola en invernadero*. INCAPA, México. pp. 130-156.
- Chamarro L. J. 1995. Anatomía y fisiología de la planta. In: Nuez F. *El cultivo del tomate*. Edit. Mundi Prensa. Madrid, Esp. pp. 43-90.
- Chappell J. 1995. The biochemistry and molecular biology of isoprenoid metabolism. *Plant Physiology* 107: 1-6.
- Child A. 1990. A synopsis of *Solanum* subgenus Potatoe (G. Don) (D'Arcy) [*Tuberarium* (Dun.) Bitter (s.l.)]. *Feddes Repert Specierum Nov Regni Veg* 101: 209-235.
- Clinton S. K. 1998. Lycopene: chemistry, biology, and implications for human health and disease. *Nutrition Reviews* 56(2): 35-51.
- Cook R. 2007. El mercado dinámico de la producción de tomate fresco en el área del TLCAN. Depto. Agricultura y Recursos Económicos, Universidad de California, Davis, Ca. Estados Unidos de América. 36 p.
- Cornish, P. S. 1992. Use of high electric conductivity of nutrient solution to improve the quality of salad tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) grown in hydroponic culture. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 32 (4): 513-520.
- Corwin D. L., J. D. Rhoades, J. Simunek. 2007. Leaching requirement for soil salinity control: Steady-state versus transient models. *Agricultural Water Management* 90: 165-180.

- Cuartero J. and R. Fernández-Muñoz. 1999. Tomato and salinity. *Scientia Horticulturae* 78: 83-125.
- Cunningham Jr. F. X., B. Pogson., Z. Sun, K. A. McDonald, D. DellaPenna and E. Gantt 1996. Functional analysis of the  $\beta$  and  $\epsilon$  lycopene cyclase enzymes of arabidopsis reveals a mechanism for control of cyclic carotenoid formation. *The Plant Cell* 8: 1613-1626.
- Cunningham Jr. F. X. and E. Gantt. 2001. One ring or two? Determination of ring number in carotenoids by lycopene  $\epsilon$ -cyclases. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 98(5): 2905-2910.
- Davies J. N. and G. E. Hobson. 1981. The constituents of tomato fruit-the influence of environment, nutrition and genotype. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 15(3): 205-280.
- De Boodt M. 1965. Vergelijkende studie van de fysische eigenschappen van kunstmatige bodems en de groei van sierplanten. *Pedologie* 14: 159-176.
- De Boodt M, and N. de Waele. 1968. Study on the physical properties of artificial soils and the growth of ornamental plants. *Pedologie* 18(3): 275-300.
- De Boodt M. and O. Verdonck. 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Horticulturae* 26: 37-44.
- De Boodt M., O. Verdonck and I. Cappaert. 1974. Method for measuring the waterrelease curve of organic substrates. *Acta Horticulturae* 37: 2054-2062.
- 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 Candolle A. 1885. Origin of cultivated plants. The international scientific Series V 48. D. Appleton and Company. New York. 1, 3 and 5 Bond street. pp. 290-292.
- Delgado-Vargas F., A. R. Jiménez and O. Paredes-Lopez. 2000. Natural Pigments: Carotenoids, Anthocyanins, and Betalains—Characteristics, Biosynthesis, Processing, and Stability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 40(3):173–289.
- Del Villar-Martínez A. A., M. Á. Serrato-Cruz, A. Solano-Navarro, M. L. Arenas-Ocampo, A. G. Quintero-Gutiérrez, J. L. Sánchez-Millán, S. Evangelista-Lozano, A. Jiménez-Aparicio, F. A. García-Jiménez y P. E. Vanegas-Espinoza. 2007. Carotenoides en *Tagetes erecta* L. la modificación genética como alternativa. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30(2): 109 – 118.
- Díaz S. F. R. 2004. Selección de sustratos para la producción de hortalizas en invernadero. *Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción. Torreón, Coah., Méx.* pp. 44-68.
- Dorai M., A. P. Papadopoulos and A. Gosselin. 2001. Influence of electric conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality. *Agronomie* 21: 367-383.
- Duggar B. M. 1913. Lycopersicin, the red pigment of the tomato, and the effects of conditions on its development. *Washington University Studies* 1: 22-45.
- Ezquivel T. S. 2001. Sustratos para el cultivo sin suelo. Tesis de Licenciatura. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Méx. pp. 1.
- FAO. 1990. Soilless culture for horticultural crop production. FAO, Plant Production and Protection Paper No. 101. Roma. 188 p.
- FAO. 2003. [www.apps.fao.org](http://www.apps.fao.org). Consulta 25/10/2008.
- FAS/USDA. 2003. Processed tomato products outlook and situation in selected countries. Horticultural & Tropical Products Division. Washington D. C. USA. [www.fas.usda.gov/](http://www.fas.usda.gov/). Consulta 5/01/2011

- FAS/USDA. 2008. World markets and trade. Fresh and processing tomatoes. Office of global analysis. Washington, D. C. USA. [www.fas.usda.gov/](http://www.fas.usda.gov/). Consulta 5/01/2011
- FAS/USDA. 2009. Tomatoes and products annual. Gain Report No. MX9036. Washington D. C. USA. [www.fas.usda.gov/](http://www.fas.usda.gov/). Consulta 5/01/2011
- FIRA. 2009. Principales resultados del VIII censo agrícola, ganadero y forestal 2007. Notas de análisis. 28 p.
- FIRA. 2010a. Oportunidades de negocio en agricultura protegida. Boletín informativo No. 7: 1-99.
- FIRA. 2010b. Panorama Tomate. Información económica. Panorama Agroalimentario. 26 p.
- Flores P., J. M. Navarro, M. Carvajal, A. Cerdá and V. Martínez. 2003. Tomato yield and quality as affected by nitrogen source and salinity. *Agronomie* 23: 249-256.
- Fraser P. D., M. R. Truesdale, C. R. Bird, W. Schuch and P. M. Bramley. 1994. Carotenoid biosynthesis during tomato fruit development. *Plant Physiology* 105(1): 405-413.
- Fraser P. D. and P. M. Bramley. 2004. The biosynthesis and nutritional uses of carotenoids (review). *Progress in Lipid Research* 43: 228-265.
- Frenkel C. and J. J. Jen. 1989. Tomatoes. In: N. A. M. Eskin. Quality and preservation of vegetables. Edit CRC Press, Inc. USA. pp. 53-73.
- García C. O., G. Alcantar G., R. I. Cabrera, F. Gavi R. y V. Volke H. 2001. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. *Terra* 19(3): 249-258.
- García E. and D. M. Barret. 2006. Evaluation of processing tomatoes from two consecutive growing seasons: quality attributes, peelability and yield. *Journal of Food Processing and Preservation* 30: 20-36.
- George B., C. Kaur, D. D. Khurdiya and H. C. Kapoor. 2004. Antioxidant in tomato (*Lycopersicum esculentum*) as a function of genotype. *Food Chemistry* 84(1): 45-51.
- Ghezan G. 1999. Trayectoria y demandas tecnológicas de las cadenas agroindustriales en el mercosur ampliado - hortalizas: tomate fresco y procesado. PROCISUR. Montevideo, Ur. Series Resúmenes Ejecutivos N0. 7: 1-13.
- Giuliano G., G. E. Bartley and P. A. Scolnik. 1993. Regulation of carotenoid biosynthesis during tomato development. *The Plant Cell* 5: 379-387.
- Gómez P. A. y A. F. L. Camelo. 2002. Calidad postcosecha de tomates almacenados en atmósferas controladas. *Horticultura Brasileira* 20(1): 38-43.
- 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: J. G. Atherton y J. Rudich (eds) *The Tomato Crop: a scientific basis for improvement*. Chapman and Hall, London, U.K. pp. 241-280.
- Hernández-Martínez J., R. García-Mata, R. Valdivia-Alcalá y J. M. Omaña-Silvestre. 2004. Evolución de la competitividad y rentabilidad del cultivo del tomate rojo (*lycopersicon esculentum* l.) en Sinaloa, México. *AGROCIENCIA* 38 (4): 431-436.
- Ho L. C. and J. D. Hewitt. 1986. Fruit development. In: J. G. Atherton y J. Rudich (eds) *The Tomato Crop: a scientific basis for improvement*. Chapman and Hall, London, U.K. pp. 201-240.
- HunterLab e Izasa, 2001. Principios básicos de medida y percepción de color. Reston, Virginia, USA. 124 p.

- Iskander C. R. 2002. Manejo de sustratos para la producción de plantas ornamentales en maceta. Department of Horticultural Sciences, Texas A&M University. 17360 Coit Road, Dallas, Texas 75252 (USA). 9 p.
- Ismail M. R., M. S. Halimi and K. Jusoh. 1993. Growth and yield of tomatoes as influenced by different substrates, substrate volumes and irrigation frequencies. *Acta Horticulturae* 342: 143-153.
- Jenkins, J. A. 1948. The origin of the cultivated tomato. *Economic Botany* 2(4): 379-392.
- Jensen M. H. 1997. Hydroponics. *HortScience* 32(6): 1018-1021.
- Jobs J. A., G. J. Hoffman and J. D. Wood. 1981. Leaching requirement for salinity control. II. Oat, tomato and cauliflower. *Agricultural Water Management* 4(4): 393-407.
- Jones R. A. and S. J. Scott. 1984. Genetic potential to improve tomato flavor in commercial F<sub>1</sub> híbridos. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 109(3): 318-321.
- Juárez-López P., R. Castro-Brindis, T. Colinas-Leon, P. Ramírez-Vallejo, M. Sandoval-Villa, D. W. Reed, L. Cisneros-Zevallos y S. King. 2009. Evaluación de calidad en frutos de siete genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* var. *ceraciforme*). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15(2): 5-9.
- Kader, A. A. 1983. Postharvest quality maintenance of fruits and vegetables in developing countries. In: M. Lieberman (ed.), *Postharvest Physiology and Crop Preservation*. Edit. Plenum Publ. Corp., New York, USA. pp. 455-470.
- Kader A. A. 1986. Effects of postharvest handling procedures on tomato quality. *Acta Horticulturae* 190: 209-221.
- Kader A. A. 1992. Indices de madurez, factores de calidad, normalización e inspección de productos hortícolas. In: E. M. Yahia y I. Higuera C. *Fisiología y tecnología postcosecha de productos hortícolas*. Ed. 1<sup>a</sup>. Edit. Limusa. México D. F. pp. 49-57.
- Kader A. A. 1996. Maturity, ripening, and quality relationships of fruit vegetables. *Acta Horticulturae* 434: 249-255.
- 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.
- Kader A. A., M. A. Stevens, M. Albright-Holton, L. L. Morris and M. Algazi. 1977. Effect of fruit ripeness when picked on flavor and composition in fresh market tomatoes. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 102(6): 724-731.
- Kader A. A., L. L. Morris, M. A. Stevens and M. Albright-Holton. 1978. Composition and flavor quality of fresh market tomatoes as influenced by some postharvest handling procedures. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 103(1): 6-13.
- Krumbein A. and H. Auerswald. 1998. Characterization of aroma volatiles in tomatoes by sensory analyses. *Food/Nahrung* 42(6): 395-399.
- La Guía MetAs. 2009. Medición de color. Boletín LGM-09-07. MetAs & Metrólogos Asociados. Cd. Guzman, Zapotlán, Jal. Méx. C.P. 49000. 12 p.
- Lee, S. K. and A. A. Kader, A. A. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology* 20: 207-220.
- Lichtenthaler H. K. 1998. The plants' 1-deoxy-D-xylulose-5-phosphate pathway for biosynthesis of isoprenoids. *Fett/Lipid* 100:128-38.
- Lichtenthaler H. K. 1999. The 1-deoxy-D-xylulose-5-phosphate pathway of isoprenoid biosynthesis in plants. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 50:47-65.

- Linnaeus C. 1753. Species Plantarum. Tomo 1. L. Salvii. Holmiae, Stockholm. pp. 185-186.
- Little A. C. 1975. A research note off on a tangent. Journal of Food Science 40(2):410-411.
- López-Camelo A. F. 2003. Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas. Del mercado al campo. Boletín 151. FAO, Roma. pp.103.
- Lower R. L. and A. E. Thompson. 1967. Inheritance of acidity and solids content of small-fruited tomatoes. Proc. Amer. Soc. Hortic. Sci. 91: 486-494.
- Luckwill L. C. 1943. The Genus *Lycopersicon*. An historical, biological, and taxonomic survey of the wild and cultivated tomatoes. Aberdeen University Studies No. 120: 1-44.
- Maas E. V. and G. J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance-current assessment. Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE 103 (2): 115-134.
- Macias M. A. 2003. Enclaves agrícolas modernos: el caso del jitomate mexicano en los mercados internacionales. Region y Sociedad 15 (26): 103-151.
- Mahakun N., P. W. Leeper and E. E. Burns. 1979. Acidic constituents of various tomato fruit types. Journal of Food Science 44 (4): 1241-1244.
- Maldonado T. R. 1994. Método universal para la preparación de soluciones nutritivas. Departamento de Suelos, Universidad Autónoma Chapingo. Apoyos académicos No. 11.
- Maldonado T. R. y M. E. Álvarez S. 2002. Nutrición de cultivos sin suelo. In: Sánchez C. F., Maldonado R., Álvarez E., Jensen M., Giacomelli G., Waller P., Ojeda W., Rojano A. y Morales J. A. Invernaderos: Teoría y Práctica. Curso internacional de invernaderos. Tomo I. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. pp. 11-152.
- Malundo T. M. M., R. L. Shewfelt and J. W. Scott . 1995. Flavor quality of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by sugar and acid levels. Postharvest biology and technology 6: 103-110.
- Marschner H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. Second Edition. Academic Press. London, U. K. 889 p.
- Marshall J. A., S. Knapp, M. R. Davey, J. B. Power, E. C. Cocking, M. D. Bennett and A. V. Cox. 2001. Molecular systematic of *Solanum* section *Lycopersicum* (*Lycopersicon*) using the nuclear ITS rDNA region. Theoretical and Applied Genetics 103: 1216-1222.
- Martínez G. G. A., Y. D. Ortiz H., M. Urrestarazu G., M. C. Salas S. J. y C. Escamirosa T. 2009. La rotación de cultivos y las propiedades de la cáscara de almendra como sustrato. Revista Fitotecnia Mexicana 32(2): 135-142.
- Martínez P. G. L. 2007. Evaluación de metodologías para caracterización de propiedades físicas de sustratos. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Fitotecnia. Chapingo, México. pp. 39-75.
- Mattheis J. P. and J. K. Fellman. 1999. Preharvest factors influencing flavor of fresh fruit and vegetables. Postharvest Biology and Technology 15(3): 227-232.
- Matthews R. F., P. Crill and D. S. Burgis. 1973. Ascorbic acid content of tomato varieties. Florida Agricultural Experiment Station Journal Series No. 5162: 242-245.
- Mayer F., G. Takeoka, R. Buttery, Y. Nam, M. Naim, Y. Bezman and H. Rabinowitch. 2002. Aroma of fresh field tomatoes. In: K. R. Cadwallader and H. Weenen (Eds.). Freshness and shelf life of foods. ACS Symposium Series, 836 American Chemical Society, Washington D.C. pp 144-161.

- MCS (Mexico Calidad Suprema) Tomate. 2005. PC-020-2005 pliego de condiciones para el uso de la marca oficial México Calidad Suprema en tomate. SAGARPA, BANCOMEX, SECRETARIA DE ECONOMIA. México, D. F. 22 p.
- Mikkelsen R. L. 2005. Tomato flavor and plant nutrition: a brief review. *Better Crops* 89(2): 14-15.
- Miller P. 1754. *The gardeners dictionary*, Abridged 4<sup>th</sup> ed. John and James Rivington, London, UK.
- Minolta, K. 2007. *Precise color communication*. Kónica Minolta Sensing, Inc. Japan. 59 p.
- Mitchell J. P., C. Shennan, S. R. Grattan and D. M. May. 1991. Tomato fruit yields and quality under water deficit and salinity. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 116(2): 215-221.
- Mizrahi Y. 1982. Effect of salinity on tomato fruit ripening. *Plant Physiology* 69: 966-970.
- Monti, L.M. 1980. The breeding of tomatoes for peeling. *Acta Horticulturae* 100: 341-349.
- Müller C. H. 1940. A revision of the genus *Lycopersicon*. United States Dep. Agriculture, Misc. Publ. 382: 1-29 +10 pl.
- Nesbitt, T. C. and S. D. Tanksley. 2002. Comparative sequencing in the genus *Lycopersicon*: implications for the evolution of fruit size in the domestication of cultivated tomatoes. *Genetics* 162: 365-379.
- Papadopoulos A. P. 1991. Growing greenhouse tomatoes in soil and in soilless media. Research Station Harrow Ontario. Agriculture Canada Publication 1865/E. 79 p.
- Pecker I., R. Gubbay, F. X. Cunningham Jr. and J. Hirschberg. 1996. Cloning and characterization of the cDNA for lycopene  $\beta$ -cyclase from tomato reveals a decrease in its expression during tomato ripening. *Plant Molecular Biology* 30: 806-819.
- Peralta I. E. and D. M. Spooner. 2000. Classification of wild tomatoes: a review. *KURTZIANA* Tomo 28 (1): 45-54.
- Peralta I. E. and D. M. Spooner. 2001. Granule-bound starch synthase (GBSSI) gene phylogeny of wild tomatoes (*Solanum* L. section *Lycopersicum* (Mill.). Wettst. Subsection *Lycopersicon*. *American Journal of Botany* 88 (10): 1888-1902.
- Peralta, I. E. and D. M. Spooner. 2007. History, origin and early cultivation of tomato (*Solanaceae*). In: Razdan M. K. and Mattoo A. K. (eds). *Genetic Improvement of Solanaceous Crops, Vol. 2: Tomato*. Edit. Science Publishers, Enfield, USA. pp 1-24.
- Peralta I. E., S. Knapp and D. M. Spooner. 2005. New species of wild tomatoes (*Solanum* section *Lycopersicon*: *Solanaceae*) from northern Peru. *Systematic Botany* 30(2): 424-434.
- Peralta, I. E., S. Knapp and D. M. Spooner. 2006. Nomenclature for wild and cultivated tomatoes. *TGC REPORT* 56:7-12.
- Petro-Turza M. 1986. Flavor of tomato and tomato products. *Food Reviews International* 2 (3): 309-351.
- Radzevicius A., R. Karkleliene, C. Bobinas and P. Viskelis. 2009. Nutrition quality of different tomato cultivars. *Zemdirbyste-Agriculture* 96(3): 67-75.
- Rhoades J. D., 1974. Drainage for salinity control. In: J. van Schilfgaarde, (Ed.), *Drainage for Agriculture*. Agronomy Monograph No. 17. SSSA, Madison, WI. pp. 433-461.
- Rick, C.M. 1963. Barriers to interbreeding in *Lycopersicon peruvianum*. *Evolution* 17: 216-232.
- Rick C M. 1977. Conservation of tomato species germplasm. California, Agriculture. September, 32-33.

- Rick, C. M. 1979. Biosystematic studies in *Lycopersicon* and closely related species of *Solanum*. In: J. G. Hawkes, R. N. Lester and A. D. Skelding (eds.). The Biology and Taxonomy of the Solanaceae, Linnean Society Symposium Series 7: 667-678. Academic Press, New York, USA.
- Rick, C. M. 1986. Reproductive isolation in the *Lycopersicon peruvianum* complex. In: W.G. D'Arcy [ed.], Solanaceae, biology and systematics. Columbia University Press, New York, USA. pp. 477-495.
- Ronen G., M. Cohen, D. Zamir and J. Hirschberg. 1999. Regulation of carotenoid biosynthesis during tomato fruit development: expression of the gene for lycopene epsilon-cyclase is down-regulated during ripening and is elevated in the mutant Delta. The Plant Journal 17(4): 341-351.
- Ronen G., L. Carmel -Goren, D. Zamir and J. Hirschberg. 2000. An alternative pathway to  $\beta$ -carotene formation in plant chromoplasts discovered by map-based cloning of Beta and old-gold color mutations in tomato. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 97(20): 11102-11107.
- Ross D. S., J. D. Lea-Cox and K. M. Tefteau. 2001. The Importance of Water in the Nutrient Management Process. University of Maryland. Proc. Southern Nursery Association Res. Conf. 46: 574-591.
- SAGARPA. 2009. Agricultura protegida. Programa de ejecución directa. [www.sagarpa.gob.mx/agricultura](http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura). Consulta: 07/01/2011.
- Salunkhe D. K., S. J. Jadhav and M. H. Yu. 1974. Quality and nutritional composition of tomato fruits as influenced by certain biochemical and physiological changes. Qual. Plant. Plant Foods for Human Nutrition 24(1-2): 85-113.
- Sánchez C. F. 2002. Invernaderos e hidroponía en el contexto de la agricultura: dos alternativas tecnológicas factibles. In: Sánchez C. F., Maldonado R., Álvarez E., Jensen M., Giacomelli G., Waller P., Ojeda W., Rojano A. y Morales J. A. Invernaderos: Teoría y Práctica. Curso internacional de invernaderos. Tomo I. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. pp. A1-A37.
- Sánchez C. F. y E. Contreras M. 2002. El cultivo de jitomate bajo invernadero. In: Sánchez C. F., Maldonado R., Álvarez E., Jensen M., Giacomelli G., Waller P., Ojeda W., Rojano A. y Morales J. A. Invernaderos: Teoría y Práctica. Curso internacional de invernaderos. Tomo I. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. pp. C1-C30.
- Sánchez C. F. y E. R. Escalante R. 1988. Hidroponia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. pp. 37-40.
- Sapers G. M., J. G. Phillips and A. K. Stoner. 1977. Tomato acidity and the safety of home canned tomatoes. Hort Science 12: 204-208.
- Saranga Y., D. Zamir, A. Marani and J. Rudich. 1991. Breeding tomatoes for salt tolerance: field evaluation of *Lycopersicon* germplasm for yield and dry-matter production. Journal of the American Society for Horticultural Science 116: 1067-1071.
- Schwarz D. and R. Kuchenbuch. 1997. Growth analysis of tomato in close recirculating system in relation to the EC value of the nutrient solution. Acta Horticulturae 450: 169-176.
- Scott J. W. 2001. Attempts to elucidate the components of tomato flavor for improved breeding efficiency. Tomato breeders roundtable. Gulf Coast Research & Education Center, Institute of Food and Agricultural Science, Florida University. Florida, USA. 2 p.

- Scott, L. E. and E. P. Walls. 1947. Ascorbic acid content and sugar-acid ratios of fresh fruit and processed juice of tomato varieties. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 50: 269-272.
- Shewfelt R. L. 1993. Measuring quality and maturity. In: Shewfelt R. L. and S. E. Prussia Postharvest handling. A systems approach. Edit. Academic Press Inc. San Diego Cal., USA. pp. 99-124.
- Soria T. and J. Cuartero. 1998. Tomato fruit yield and water consumption with salty water irrigation. *Acta Horticulturae* 458: 215-219.
- Spooner D. M., G. J. Anderson and R. K. Jansen. 1993. Chloroplast DNA evidence for the interrelationships of tomatoes, potatoes and pepinos (Solanaceae). *American Journal of Botany* 80(6): 676-688.
- Stanghellini C., W. Th. M. Van Meurs, F. Corver., E. van Dullemen and L. Simonse. 1998. Combined effect of climate and concentration of the nutrient solution on a greenhouse tomato crop. II: Yield quantity and quality. *Acta Horticulturae* 458: 231-237.
- Steiner A. A. 1984. The universal nutrient solution.. *In: Proceedings Sixth International Congress on Soilless Culture, ISOSC. Lunteren, Wageningen, The Netherlands.* pp. 633-650
- Steiner A. A. 1961. A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and soil* 15(2): 134-154.
- Steta G. M. 2003. Panorama de la horticultura en México. Memoria del 4° Congreso Internacional AMPLHI. León Gto. México.
- Stevens M. A. 1972a. Relationships between components contributing to quality variation among tomato lines. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 97: 70-73.
- Stevens M. A. 1972b. Citrate and malate concentrations in tomato fruits: genetic control and maturational effects. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 97: 655-658.
- Stevens M. A., A. A. Kader, M. Albright-Holton and M. Algazi. 1977. Genotypic variation for flavor and composition in fresh market tomatoes. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 102: 680-689.
- Tanaka Y., N. Sasaki and A. Ohmiya. 2008. Biosynthesis of plant pigments: anthocyanins, betalains and carotenoids. *The Plant Journal* 54: 733-749.
- Tandon K. S., M. Jordan, K. L. Goodner and E. A. Baldwin. 2001. Characterization of fresh tomato aroma volatiles using gc-olfactometry. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 114: 142-144.
- Terés T. V. 2001. Relaciones aire-agua en sustratos de cultivo como base para el control del riego. Metodología de laboratorio y modelización. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos, Departamento de Producción Vegetal. Fitotecnia. Esp. 483 p.
- Thompson, A. K. 1996. Postharvest technology of fruits and vegetables. Blackwell Science Ltd. U.K. 410 p.
- Turhan A. and V. Seniz. 2009. Estimation of certain chemical constituents of fruits of selected tomato genotypes grown in Turkey. *African Journal of Agricultural Research* 4(10): 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.
- USDA. 1991. United states standards for grades of fresh tomatoes. Washington D. C. USA. 13 p. [www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome](http://www.usda.gov/wps/portal/usda/usdahome). Consulta 5/01/2011



- 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. 160 p.
- Valcárcel G. M. 2009. Optimización del proceso de evaluación y selección de germoplasma por características de calidad organoléptica: uso de tecnología NIR y sensores electrónicos. Tesis doctoral. Escuela Superior de Tecnología y Ciencias Experimentales, Universitat Jaume I. Esp. pp. 9.
- Valdéz, L. A. 1990. Producción de hortalizas. Ed. Limusa-Noriega, México. Pp. 197-211.
- Velasco H. E. y R. Nieto A. 2006. Cultivo de jitomate en hidroponía e invernadero. Ed. Depto. De Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, México. pp. 6-13.
- Verdonck, O., I. Cappaert and M. De Boodt. 1974. The properties of the normally used substrates in the region of Ghent. *Acta Horticulturae* 37: 1930-1944.
- Vogele A. C. 1937. Effect of environmental factors upon the color of tomato and the watermelon. *Plant Physiology* 12: 929-955.
- Went F. W., A. L. LeRosen and L. Zechmeister. 1942. Effect of external factors on tomato pigments as studied by chromatographic methods. *Plant Physiology* 17(1): 91-100.
- Wills R. B. H, W. B. McGlasson, D. Graham, T. H. Lee and E. G. Hall. 1989. Postharvest. An introduction to the physiology and handling of fruit and vegetables. Edit. Van Nostrand Reinhold. New York, USA. pp. 88-101.
- Wills R., B. McGlasson, D. Graham y D. Joyce. 1998. Introducción a la fisiología y manipulación postcosecha de frutas y hortalizas y plantas ornamentales. Traducido por Burgos G. J. Ed. 2ª. Edit. ACRIBIA. Zaragoza, Esp. pp. 147, 157-158.
- Winsor G. W. 1979. Some factors affecting the quality and composition of tomatoes. *Acta Horticulturae* 93: 335-346.
- Winsor G. W., J. N. Davies and D. M. Massey. 1962. Composition of tomato fruit. III.- Juices from whole fruit and locules at different stages of ripeness. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 13(2): 108-115.
- 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*). *Agricultural Water Management* 78: 128-135.

# CAPÍTULO I. PRODUCCIÓN DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) EN DIFERENTES GRANULOMETRÍAS DE “TEZONTLE”<sup>a</sup>

## TOMATO (*Solanum lycopersicum* L.) PRODUCTION ON DIFFERENT SIZES OF “TEZONTLE”

Cesar **San-Martín-Hernández**<sup>1\*</sup>, Victor M. **Ordaz-Chaparro**<sup>1\*\*</sup>, Prometeo **Sánchez-García**<sup>1\*\*\*</sup>  
María Teresa B. **Colinas-Leon**<sup>2</sup> y Lizette **Borges-Gómez**<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Edafología, IRENAT. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, México. Fax 01(595)2021254. \*sanmartin.cesar@colpos.mx; \*\*ordaz@colpos.mx; \*\*\*promet@colpos.mx

<sup>2</sup>Universidad Autónoma Chapingo. 56230. Carr. México-Texcoco, km 38.5. Fax 01(595)9521642. lozcol@gmail.com

<sup>3</sup>Instituto Tecnológico de Conkal. 97345. Conkal, Yucatán. Antigua carr. Mérida-Motul, km 16.3. Fax 01(999)9124130. lizette\_borges@hotmail.com

### RESUMEN

Este estudio se realizó con el propósito de evaluar la producción de tomate en hidroponía, determinando previamente las propiedades físicas del sustrato. Para esto, se mezclaron cuatro tamaños de escoria volcánica roja “tezontle” (Tez) 3-5, 5-10, 10-20 y 20-30 mm de diámetro con polvo y fibra de coco (PFC) en las proporciones 1:0, 3:1 y 1:1 (Tez:PFC). Las plantas se regaron con la solución Steiner mediante un sistema de riego por goteo, aplicando solo la fracción de humedad “agua fácilmente disponible” sin pérdidas de humedad y fertilizantes del sustrato. Mensualmente se monitoreó la conductividad eléctrica (CE) y pH de la solución drenada del sustrato. Empleando un diseño completamente aleatorizado, en bolsas de plástico (contenedor) con 24 L de mezcla de sustrato, se trasplantaron tres plántulas de tomate usando tres contenedores por unidad experimental con cinco repeticiones. En el sustrato, se evaluó la densidad aparente (Da) porosidad total (PT), porosidad de aireación (Pai) y porosidad de retención de humedad (Prh); y se seleccionaron las mezclas con valores cercanos al 70% de PT considerando el balance entre Pai y Prh. En el cultivo de tomate, se evaluaron las variables: altura de planta (AP), materia seca de hojas (MSH) y tallo (MST), relación hoja/tallo (R H/T) y rendimiento de fruto por planta (R). La PT y Prh son positivamente influidos conforme la

---

<sup>a</sup>Formato de la revista Agrociencia. Por enviar para arbitraje a la revista Acta Horticulturae 73

proporción de PFC incrementó sobre el “tezontle”; siendo la proporción 3:1, la mejor mezcla para cada tamaño de partícula. Sin embargo, a igualdad de condiciones hídricas, nutricionales y propiedades físicas del sustrato, el tamaño de partícula de “tezontle” mezclado con PFC no presentó efectos significativos sobre AP, MSH, MST, R H/T y R de tomate producido en este sistema hidropónico.

**Palabras clave:** escoria volcánica roja, propiedades físicas, polvo y fibra de coco, hidroponía

### **ABSTRACT**

This study was carried out in order to assess the production of tomatoes in hydroponics, pre-determining the physical properties of the substrate. For this, four different sizes of red volcanic scoria "tezontle" (Tez) 3-5, 5-10, 10-20 and 20-30 mm in diameter with the dust and fiber coconut (DFC) in the 1:0, 3:1 and 1:1 (Tez: DFC) proportions were mixed. The plants were irrigated with the Steiner solution through a drip irrigation system, applying only the fraction of moisture "easily available water" without loss of a moisture and fertilizers of the substrate. Every month, the electrical conductivity (EC) and pH of the drained solution from the substrate, were monitored. Using a completely randomized design, in plastic bags (container) with 24 L of substrate mixture, three tomato seedlings were transplanted using three containers per plot with five replications. In the substrate, the bulk density (Bd), total porosity (TP), aeration porosity (Aep) and water retention porosity (Wrp) were evaluated; and mixtures with values close to 70% of PT were selected considering the balance between Aep and Wrp. In the tomato crop, the variables: plant height (PH), dry matter of leaves (DML), dry matter of stems (DMS), leaf/stem ratio (L/S R) and fruit yield per plant (Y), were evaluated. The TP and Wrp are positively influenced as the proportion of DFC on the “tezontle” is increased: being the 3:1 proportion, the best mix to each particle size. However, to equality of water conditions, nutritional and physical properties of the substrate, the particle size of “tezontle” mixed with DFC had no significant effect on PH, DML, DMS, L/S R, and Y of tomato produced in this hydroponic system.

**Key words:** red volcanic scoria, physical properties, dust and fiber coconut, hydroponics.

## **INTRODUCCIÓN**

En el mundo moderno, la producción de alimentos demanda tecnologías eficientes y en armonía con el ambiente. En México la agricultura protegida sigue creciendo, donde actualmente los tomates de invernadero representan entre el 8 y 12% del volumen total de esta hortaliza con aproximadamente 3200 Ha (Cook, 2007; AMHPAC, 2010), requiriendo para esta actividad diferentes sustratos. Existen numerosos materiales que pueden ser utilizados como sustratos en la producción hortícola, siempre y cuando su manejo esté adaptado a los requerimientos del medio y de la planta (Abad y Noguera, 2000). En la región central de México existe un material utilizado frecuentemente como sustrato disponible y barato, conocido como “Tezontle”. Sin embargo, para utilizar algún material inerte como medio de cultivo, se necesita conocer sus propiedades físicas debido a que si su condición física es inadecuada, difícilmente podemos mejorarla una vez que se ha establecido el cultivo; en contraste con las propiedades químicas, éstas pueden ser alteradas con diversas técnicas posterior al establecimiento del cultivo (Iskander, 2002). De tal manera que el propósito de esta investigación fue determinar las propiedades físicas de sustratos compuestos con materiales inorgánicos y orgánicos como requisito previo para su evaluación agronómica en la producción de tomate en hidroponía.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

La presente investigación se realizó en dos etapas, en el laboratorio de física de suelos y en los invernaderos del Colegio de Postgraduados, México.

Primera etapa. Previo a la evaluación agronómica del sustrato, se utilizaron los tamaños de “tezontle rojo” (Tez) de 3-5, 5-10, 10-20 y 20-30 mm de diámetro ( $\Theta$ ) mezclado con polvo y fibra de coco (PFC) en las proporciones 1:0, 3:1 y 1:1 (Tez:PFC), para determinarles su densidad aparente ( $D_a$ ), porosidad total (PT), porosidad de aireación ( $P_{ai}$ ) y porosidad de retención de humedad ( $P_{rh}$ ). Además, la curva de retención de humedad solo a las mezclas seleccionadas para el cultivo de tomate en hidroponía.

Segunda etapa. Se empleó un diseño experimental completamente al azar. En contenedores (con dos orificios de 5 mm en el fondo para drenar los excesos de humedad y monitorear el pH y CE de la solución drenada) con 24 L de mezcla de sustrato, se trasplantaron 3 plántulas de tomate cv.

“Caiman”. Se utilizaron tres contenedores por unidad experimental con 5 repeticiones por tratamiento. Las variables evaluadas fueron altura de planta (AP), materia seca de hojas (MSH) y tallo (MST), relación hoja/tallo (R H/T) y rendimiento planta<sup>-1</sup> (R). La altura de planta, se estimó mediante el modelo logístico  $AP = A / (1 + Be^{-Cx})$ , adaptado de Richard (1959).

Se suministró la solución nutritiva Steiner (1984) al cultivo con el sistema de riego por goteo, aplicando solo la fracción de humedad “agua fácilmente disponible” según la curva de liberación de humedad de De Boodt y Verdonck (1972), sin pérdidas de agua y fertilizantes por solución drenada del sustrato. Mensualmente se monitoreó la CE y pH de la solución en contacto con la raíz de la planta.

El análisis estadístico se hizo con el programa Statistical Analysis System (SAS, 2002 V9).

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Como sustrato puro, el “tezontle” presenta muy baja retención de agua y una alta capacidad de aireación. Sin embargo, la porosidad total y la porosidad de retención de humedad se ven afectados conforme aumenta la proporción del polvo y fibra de coco. Así, a la mayor porosidad total le correspondió la mayor proporción de polvo y fibra de coco (Cuadro 1).

Considerando un mínimo de 70% de porosidad total (Iskander, 2002), se obtuvieron valores cercanos con el tamaño de partícula de 3-5 mm (68.5%) y superiores en 10-20 mm (93.6%) y 20-30 mm (88%) de diámetro de tezontle, respectivamente (Cuadro 1).

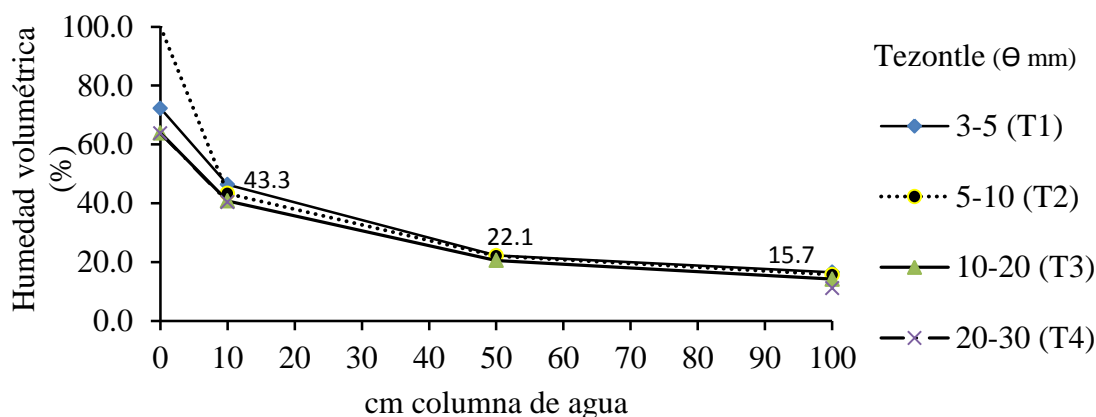
La Pai y Prh son complementarias y mutuamente variantes debido a que al aumentar una, la otra disminuye. Por tanto, en el cultivo sin suelo, se recomiendan los sustratos que presenten un óptimo en la porosidad total, pero que la Pai y Prh, estén en igual proporción, (1:1) (Verdonck *et al.*, 1974). Bajo este criterio, en las cuatro granulometrías se seleccionaron las mezclas de Tez:PFC en la proporción 3:1 debido a que la Pai y Prh estuvieron próximos al equilibrio y mostraron valores cercanos al óptimo en la porosidad total. Los tamaños de partícula de tezontle 3-5, 5-10, 10-20 y 20-30 mm de diámetro mezclados cada uno con 25% de PFC, constituyeron los tratamientos T1, T2, T3 y T4, respectivamente para la evaluación agronómica.

**Cuadro 1. Características físicas de las mezclas de sustrato evaluadas.**

Tratamiento	Tezontle ( $\Theta$ mm)	Proporción (Tez:PFC)	Da	Pai (%)	Prh (%)	PT (%)
1	3-5	1:0		42.9 a <sup>§</sup>	19.0 c	61.9 b
2	3-5	3:1	0.75	<b>20.3 b</b>	<b>41.7 b</b>	<b>62.0 b</b>
3	3-5	1:1		12.8 c	55.7 a	68.5 a
DMS <sup>†</sup>				3.9229	2.356	2.4173
CV <sup>¶</sup>				6.1814	2.4245	1.5048
4	5-10	1:0		51.3 a	11.7 c	63.0 c
5	5-10	3:1	0.76	<b>19.0 b</b>	<b>46.7 b</b>	<b>65.7 b</b>
6	5-10	1:1		19.2 b	60.3 a	79.5 a
DMS <sup>†</sup>				4.0669	4.7267	1.8007
CV <sup>¶</sup>				5.4376	4.7699	1.0355
7	10-20	1:0		53.7 a	9.3 c	63.0 b
8	10-20	3:1	0.7	<b>20.3 b</b>	<b>44.6 b</b>	<b>65.0 b</b>
9	10-20	1:1		23.9 b	69.7 a	93.6 a
DMS <sup>†</sup>				6.0372	3.914	2.5328
CV <sup>¶</sup>				7.3798	3.7902	1.3687
10	20-30	1:0		56.9 a	8.1 c	65.0 b
11	20-30	3:1	0.6	<b>27.2 b</b>	<b>39.2 b</b>	<b>66.3 b</b>
12	20-30	1:1		14.7 b	73.3 a	88.0 a
DMS <sup>†</sup>				14.72	13.666	5.7169
CV <sup>¶</sup>				17.8353	13.5735	3.1214

<sup>†</sup>DMS: diferencia mínima significativa; <sup>¶</sup>CV: coeficiente de variación; <sup>§</sup>medias con misma letra en columnas y tamaño de partícula, no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

La curva de retención de humedad de los 4 tratamientos antes definidos, mostró un comportamiento similar, requiriendo alrededor de 210 ml de agua por cada litro de sustrato para mantener la fracción de humedad en el rango de “agua fácilmente disponible” localizado de los 10 a 50 cm de columna de agua según De Boodt y Verdonck (1972) (Figura 1).

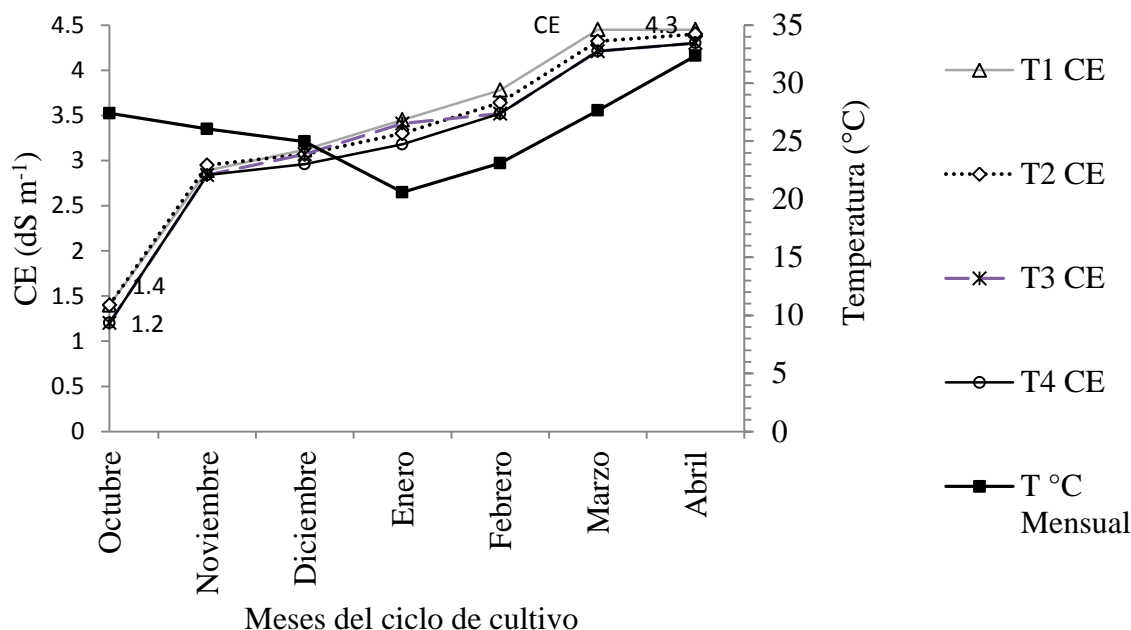


**Figura 1. Curva de retención de humedad de “tezontle” mezclado con 25% de PFC.**

Debido a que durante el ciclo de cultivo en los cuatro tratamientos se suministró el mismo volumen de solución nutritiva correspondiendo a la fracción de humedad “agua fácilmente disponible” sin pérdidas por drenaje de agua y fertilizantes, se generaron efectos de salinidad y alcalinidad en el sustrato. La CE de la solución drenada incrementó en igual magnitud en todos los tratamientos, iniciando desde 1.3 en el primer mes, hasta los 4.3 dS m<sup>-1</sup> al final del ciclo de cultivo (170 días después del trasplante) (Figura 2). El pH presentó la misma tendencia que la CE, oscilando de 6.5 en el primer mes de cultivo, hasta 8.4 a los 170 días después del trasplante (datos no mostrados), posibilitando este aumento, el bloqueo de algunos nutrientes para las plantas: por la formación de carbonatos de calcio y magnesio a valores de pH >8.3; formación de fosfatos de calcio cuando el producto de la concentración de estos dos iones rebasa los 2.2 mol m<sup>-3</sup>; y reducción de la solubilidad de Fe<sup>2+</sup> y Mn<sup>2+</sup> (Steiner, 1984; Lara, 1999). Ambos efectos en el pH y CE de la rizosfera, es atribuido a la falta de una fracción de lavado de sales como es recomendado, para evitar los riesgos de salinización y reducción del rendimiento (Rhoades, 1974; Papadopoulos, 1991; Goykovic y Saavedra, 2007). En tezontle se reportan fracciones de lavado de 31-38% en producción comercial de tomate (Ojodeagua *et al.*, 2008), sin pérdidas en el rendimiento.

El tamaño de partícula de “tezontle” mezclado con polvo y fibra de coco en la proporción 3:1 (Tez:PFC) no afectó la altura de planta, materia seca de hojas, materia seca de tallos, relación hoja/tallo y el rendimiento de tomate (Cuadro 2 y Figura 3). Este comportamiento puede ser atribuido a dos factores: (1) por el suministró del mismo volumen de solución nutritiva (210 ml

L<sup>-1</sup> de sustrato) de acuerdo a la curva de retención de humedad del sustrato (Figura 1); y (2) por un aumento progresivo de salinidad y alcalinidad en el sustrato de igual magnitud durante el desarrollo del cultivo (Figura 2), conduciendo ambos a una misma respuesta en cada una de las variables medidas.



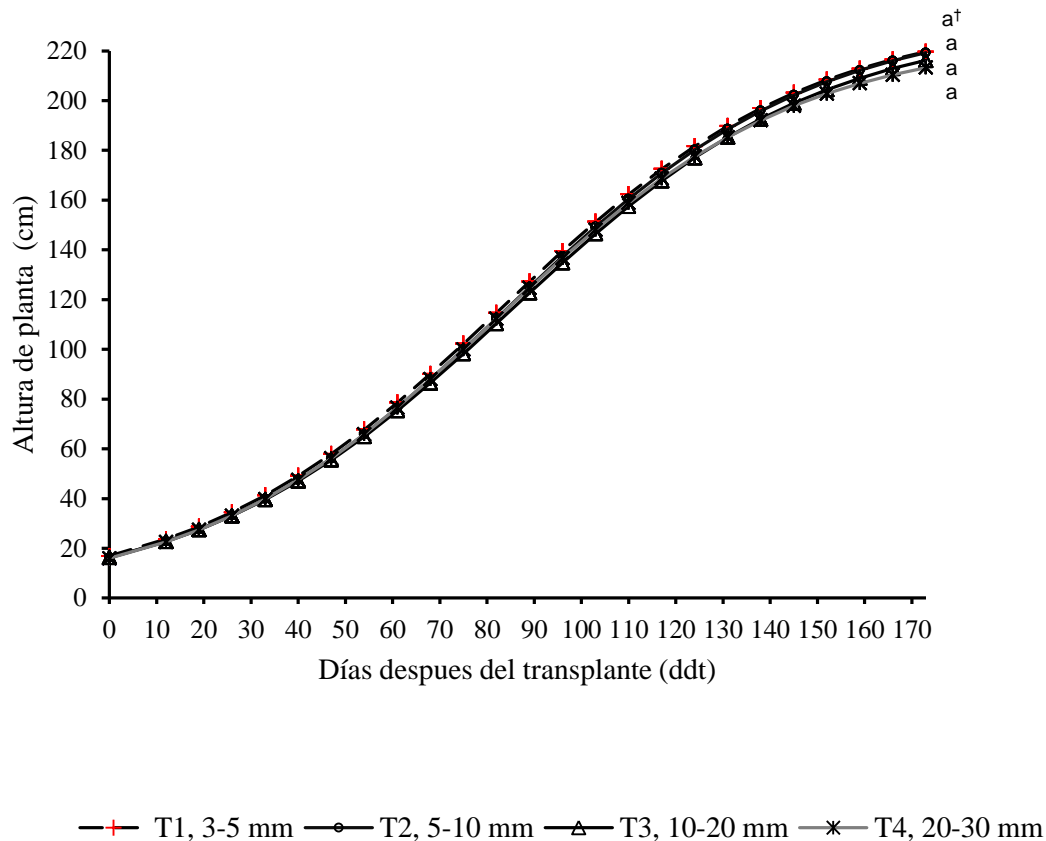
**Figura 2. CE de la solución en contacto con la raíz de la planta y temperatura promedio durante el cultivo.**

**Cuadro 2. Evaluación agronómica del cultivo de tomate en hidroponía.**

Tratamiento	Tezontle (Ø mm)	Materia seca (g)			Rendimiento (kg pta <sup>-1</sup> )
		Hojas	Tallos	R H/T	
T1	3-5	97.84 a <sup>§</sup>	54.44 a	1.800 a	2.3170 a
T2	5-10	96.10 a	52.10 a	1.848 a	2.3470 a
T3	10-20	93.60 a	51.08 a	1.832 a	2.4210 a
T4	20-30	88.48 a	49.24 a	1.798 a	2.3964 a
DMS <sup>†</sup>	---	9.5528	5.7866	0.1418	0.2000
CV <sup>¶</sup>	---	5.6160	6.1838	4.3065	4.6626

<sup>†</sup>DMS: diferencia mínima significativa; <sup>¶</sup>CV: coeficiente de variación; <sup>§</sup>medias con misma letra en columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, p ≤ 0.05).





**Figura 3. Altura de plantas de tomate, estimada mediante el modelo logístico, en diferentes granulometrías de “tezontle” mezclado con polvo y fibra de coco, proporción (3:1). †medias con misma letra en cada tratamiento, no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).**

El peso seco de tallos y hojas son afectados negativamente en condiciones salinas, aunque en tallo disminuye en menor grado que en hojas (Cruz y Cuartero, 1990). La disminución en el peso seco de hojas no parece ser debido a la reducción en el número de hojas (Cruz y Cuartero, 1989) sino a una reducción en el área foliar, el cual está relacionada a la CE del sustrato solamente durante el día y no siendo afectada en la noche (Van Ieperen, 1996). Entonces, la reducción del área foliar por efecto de la salinidad pudo incidir en los valores bajos obtenidos en esta investigación en cuanto a materia seca de hojas, con la consecuente disminución de la relación hoja/tallo (R H/T) (Cuadro 2), siendo en promedio (1.8195) 22% inferior a lo reportado por Heuvelink (1995) quien encontró un R H/T de 2.33 (7:3).

El rendimiento de tomate disminuye del 10-15% por cada 1 dS m<sup>-1</sup> adicional por encima del umbral de tolerancia (CE 2.5 dS m<sup>-1</sup>) en la rizósfera del cultivo de tomate (Mass y Hofman 1977; Soria y Cuartero, 1998). En producción comercial de tomate en tezontle, con una CE en la solución nutritiva de 2.5-2.8 dS m<sup>-1</sup> y un drenaje de 31-38% del volumen de riego, se han reportado rendimientos de 2.6 kg planta<sup>-1</sup> (31.4 kg en 2.7 plantas m<sup>-2</sup> conducido a 18 racimos) (Ojodeagua *et al.*, 2008), siendo en promedio 10% superior con respecto a los 2.37 kg planta<sup>-1</sup> obtenido en 4 racimos en esta investigación. La reducción del rendimiento puede ser un efecto combinado tanto por la salinidad de la rizósfera como por la reducción del área foliar, el cual incide en una menor cantidad de fotoasimilados disponible hacia los frutos.

## CONCLUSIONES

La porosidad total y la porosidad de retención de humedad son afectados positivamente conforme incrementa la proporción de polvo y fibra de coco sobre el tezontle, siendo la proporción 3:1 (Tez:PFC) la mejor mezcla en cada tamaño de partícula.

A igualdad de condiciones hídricas, nutrimentales y propiedades físicas del sustrato, el tamaño de partícula de tezontle no afectó significativamente la altura de planta, materia seca de hojas, materia seca de tallos, la relación hoja tallo y el rendimiento de tomate producido en tezontle mezclado con 25% de polvo y fibra de coco.

La restricción impuesta por el manejo de la fracción de humedad del sustrato “agua fácilmente disponible”, generó efectos de salinidad y alcalinidad en la rizósfera que disminuyeron el rendimiento de frutos y materia seca de hojas de tomate.

## LITERATURA CITADA

- Abad, B. M., y P. Noguera M. 2000. Los sustratos en los cultivos sin suelo. *In*: M. Urrestarazu G. (Ed.). Manual de Cultivo sin Suelo. 2<sup>a</sup> ed. Mundi-Prensa. Madrid, Esp. pp.137-185.
- AMHPAC. 2010. Situación actual de la agricultura protegida en México. Fundación Produce Sinaloa A. C. [www.fps.org.mx/](http://www.fps.org.mx/). Consulta 15/01/2011.
- Cook, R. 2007. El mercado dinámico de la producción de tomate fresco en el área del TLCAN. Depto. Agricultura y Recursos Económicos, Universidad de California, Davis, Ca. Estados Unidos de América. 36 p.
- Cruz, V., and J. Cuartero. 1990. Effects of salinity at several developmental stages of six genotypes of tomato (*Lycopersicon* spp.). Pp. 81-86. *In*: J. Cuartero, M. L. Gómez G.,

- and R. Fernández M. Eucarpia Tomato 90, Proc. XIth Eucarpia Meeting on Tomato Genetics and Breeding. Malaga, Spain.
- Cruz, V., y J. Cuartero. 1989. Desarrollo vegetativo de cuatro especies de *Lycopersicon* en condiciones de estrés salino. *Actas de Horticultura* 3: 15-20.
- De Boodt, M., and Verdonck O. 1972. The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Horticulturae*, 26: 37-44.
- 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.
- Heuvelink, E. 1995. Growth, development and yield of a tomato crop: periodic destructive measurements in a greenhouse. *Scientia Horticulturae* 61: 77-99.
- Iskander C., R. 2002. Manejo de sustratos para la producción de plantas ornamentales en maceta. Department of Horticultural Sciences, Texas A&M University. 17360 Coit Road, Dallas, Texas 75252 (USA). 9 p.
- Lara H., A. 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra* 17(3): 221-229.
- Maas, E. V., and G. J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance, current assessment. *Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE* 103(2): 115-134.
- Ojodeagua A., J. L., J. Z. Castellanos R., J. J. Muñoz R., G. Alcantar 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. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31(4): 367-374.
- Papadopoulos, A. P. 1991. Growing greenhouse tomatoes in soil and in soilless media. Research Station Harrow Ontario. Agriculture Canada. Publication 1865/E. 79 p.
- Rhoades, J. D. 1974. Drainage for salinity control. pp. 433-461. In: J. van Schilfgaarde (Ed.). *Drainage for Agriculture*. Agronomy Monograph No. 17. SSSA, Madison, WI.
- Richard, F. 1959. A flexible growth function empirical use. *J. Exp. Bot.* 10:290-300.
- Soria, T., and J. Cuartero. 1998. Tomato fruit yield and water consumption with salty water irrigation. *Acta Horticulturae* 458: 215-219.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. pp. 633-650. *In: Proceedings Sixth International Congress on Soilless Culture, ISOSC*. Lunteren, Wageningen, The Netherlands.
- Van Ieperen, W. 1996. Effects of different day and night salinity levels on vegetative growth, yield and quality of tomato. *The Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 71(1): 99-112.
- Verdonck, O., I. Cappaert and M. de Boodt. 1974. The properties of the normally used substrates in the región of Ghent. *Acta Horticulturae* 37: 1930-1944.

## **CAPÍTULO II. CALIDAD DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) PRODUCIDO EN AGRICULTURA PROTEGIDA<sup>1</sup>**

### **TOMATO QUALITY (*Solanum lycopersicum* L.) PRODUCED IN PROTECTED AGRICULTURE**

#### **RESUMEN**

La calidad del fruto de tomate es afectado por las variaciones genotípicas, condiciones climáticas, y sistema de producción empleado. Este estudio se efectuó con el propósito de valorar la calidad fisicoquímica del fruto de tomate producido en hidroponía y escoria volcánica roja “tezontle” (Tez) como sustrato en cuatro tamaños de partícula: 3-5, 5-10, 10-20 y 20-30 mm de diámetro correspondiendo a los tratamientos T1, T2, T3 y T4; mezclado con polvo y fibra de coco (PFC) en proporción 3:1 (Tez:PFC). Se utilizaron contenedores de plástico con 24 L de sustrato en los cuales se trasplantaron 3 plántulas de tomate. Diariamente, las plantas se regaron con la solución Steiner mediante un sistema de riego por goteo, aplicando solo la fracción de humedad “agua fácilmente disponible” sin pérdidas de humedad y fertilizantes por solución drenada del sustrato. Mensualmente se monitoreo la conductividad eléctrica (CE) y pH de la solución nutritiva en contacto con la raíz. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado, empleando tres contenedores por unidad experimental con cinco repeticiones por tratamiento. En el fruto de tomate completamente rojo, se evaluaron las variables: sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), relación SST/AT, CE, pH, porcentaje de jugo, firmeza y color (Luminosidad, Hue y Cromo). Los resultados mostraron que el tamaño de partícula de “tezontle” mezclado con PFC en la proporción 3:1 *per se* no afectó los SST, AT, relación SST/AT, CE, pH, porcentaje de jugo, Luminosidad, Hue, Cromo y la firmeza del fruto. No obstante, por las condiciones de cultivo en el suministro de humedad “agua fácilmente disponible”, se generaron efectos de salinidad y alcalinidad en el sustrato, los cuales además de la temperatura, influyeron en los atributos de calidad fisicoquímica del fruto de tomate.

**Palabras clave:** *Solanum lycopersicum* L., sustrato, agua fácilmente disponible, salinidad, hidroponía.

---

<sup>1</sup>Formato de la revista Agrociencia. Por enviar a esta revista para arbitraje

## ABSTRACT

The tomato fruit quality is affected by genotypic variations, climatic conditions, and production method. This study was carried out in order to assess the chemical quality of tomato fruit produced in hydroponic and "tezontle" (red volcanic scoria) (Tez) as substrate in four particle sizes: 3-5, 5-10, 10-20 and 20-30 mm of diameter corresponding to T1, T2, T3 and T4 treatments; they were mixed with dust and fiber coconut (DFC) in the 3:1 (Tez:DFC) proportion. Plastic containers were used with 24 L of substrate in which three tomato seedlings were transplanted. Every day, the plants were irrigated with the Steiner solution through a drip irrigation system, applying only the fraction of moisture "easily available water" without loss of a moisture and fertilizers by the drained solution of the substrate. Once a month, the electrical conductivity (EC), and pH of the nutrient solution in contact with the root were monitored. We used a completely randomized design using three containers per plot with five replications per treatment. In the red tomato fruit, the variables: total soluble solids (TSS), titratable acidity (TA), TSS/TA ratio (TSS/TA), EC, pH, percentage of juice, firmness and color (Brightness, Hue and Chroma) were evaluated. Results showed that the particle size of "tezontle" mixed with DFC in the 3:1 proportion *per se* does not affected the TSS, TA, TSS/TA, EC, pH, percentage of juice, Brightness, Hue, Chroma and firmness of the fruit. However, for the growing conditions in the moisture supply "easily available water", they generated effects of salinity and alkalinity in the substrate, which in addition to temperature, influenced the physicochemical quality attributes of the tomato fruit.

**Key words:** *Solanum lycopersicum* L., substrate, easily available water, salinity, hydroponics.

## INTRODUCCIÓN

La palabra "calidad" proviene del latín *qualitas*, que significa atributo, propiedad o naturaleza básica de un objeto. Sin embargo, en sentido abstracto su significado es "grado de excelencia o superioridad" siendo evaluada a través de la apariencia, color, textura, "flavor" (sabor y aroma), valor nutricional, composición en madurez de consumo, seguridad (sanidad); y el sabor que puede ser estimado por los sólidos solubles y ácidos orgánicos (Salunkhe *et al.*, 1974; Kader 2002; Cantwell *et al.*, 2007). No obstante, la calidad óptima para el consumo de tomate fresco se obtiene cuando el fruto madura en la planta (Kader *et al.*, 1977). Altos contenidos de azúcares y

ácidos son requeridos para un mejor sabor. Altos ácidos y bajos azúcares producen un sabor ácido, altos azúcares y bajos ácidos un sabor suave y ambos bajos, resultan en un fruto insípido (Grierson y Kader, 1986). Los frutos de tomate están constituidos básicamente por: azúcares reductores como fructosa y glucosa, y trazas de sacarosa que constituyen del 53-65% de los sólidos solubles; ácidos orgánicos siendo cítrico (9%) y málico (4%) los principales; vitamina C; 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, se sintetizan carotenoides como el licopeno (antioxidante que le brinda el color rojo) y  $\beta$ -caroteno (precursor de la vitamina A), giberelinas, quinonas y esteroides (Fraser *et al.*, 1994; White, 2002); y se ablanda el fruto por acción de las enzimas pectato liasas, pectinesterasas y poligalacturonasas (Tucker *et al.*, 1980).

Poco se conoce sobre la calidad del fruto de tomate producido en sustratos inertes y condiciones hidropónicas; por ello, el objetivo de este estudio, fue evaluar los atributos fisicoquímicos de calidad del fruto de tomate cultivado en hidroponía con diferentes granulometrías del sustrato.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El experimento se realizó en un invernadero del Colegio de Postgraduados, Montecillo, México, localizado a una altitud de 2,250 m, 19° 29' latitud norte y 98° 54' longitud oeste.

### **Diseño experimental y análisis estadístico**

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 5 repeticiones por tratamiento, utilizando 3 contenedores por unidad experimental. En bolsas (contenedores) de 20 x 10 x 120 cm con 24 L de sustrato, se trasplantaron 3 plántulas de tomate. El análisis estadístico se hizo con el programa Statistical Analysis System (SAS, 2002, V9).

### **Sustrato**

Se evaluaron los tamaños de partícula de “tezontle” (Tez) 3-5, 5-10, 10-20 y 20-30 mm de diámetro ( $\Theta$ ) mezclado con 25% de polvo y fibra de coco, correspondiendo a los tratamientos T1, T2, T3 y T4.

### **Riego**

Se suministró la solución nutritiva Steiner con el sistema de riego por goteo, aplicando solo la fracción de humedad “agua fácilmente disponible” correspondiendo de los 10-50 cm de columna de agua según la curva de liberación de humedad de De Boodt y Verdonck (1972). Cada 7 días se aplicaron tres riegos de agua acidulada a pH 5.8 y CE 0.4 dS m<sup>-1</sup> para lavar las sales del sustrato y mensualmente se monitoreó la CE y pH en la solución drenada del sustrato.

### **Solución nutritiva**

Se utilizó la solución nutritiva Steiner (1984) para macronutrientes complementada con el multiquelato Tradecorp A-Z<sup>®</sup> aportando 3 ppm de Fe<sup>3+</sup>. En las primeras dos semanas después del trasplante, se utilizó la solución nutritiva al 50% de su concentración, al 75% en la tercer semana y al 100% de la cuarta semana hasta el término del experimento.

### **Material vegetal**

Se utilizó el híbrido “Caiman” de ENZA ZADEN<sup>®</sup>. La semilla se sembró en charolas de poliestireno expandido de 200 cavidades utilizando como sustrato turba Growing Mix<sup>®</sup>. Después de 47 días se realizó el trasplante utilizando tres plántulas distribuidas de manera equidistante en cada contenedor al cual se le hizo un orificio de 5 mm  $\Theta$  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 HOBO<sup>®</sup> (Onset computer corporation, Massachusetts, USA). Las variables se evaluaron en dos tiempos: 1) 150 días después del trasplante (ddt) colectando frutos del segundo racimo y 2) 164 ddt, colectando frutos del tercer racimo; obteniendo en ambos, 4 frutos en madurez de consumo (completamente rojos) por unidad experimental.

## **Variables evaluadas**

### **% Jugo**

Con el extractor de jugos (Tur Mix<sup>®</sup>, México) se extrajo el jugo de frutos previamente pesados y por diferencia de pesos se obtuvo el jugo, expresándolo en porcentaje (%).

### **pH del jugo (pH)**

Al jugo obtenido en el extractor, se le determinó el pH con un potenciómetro (Corning 12 Scientific Instruments USA).

### **CE del Jugo (CE)**

En la muestra de jugo para la determinación del pH, se midió la CE a 25 °C en el equipo (Conductronic PC18, Puebla, México), registrando el valor en mS cm<sup>-1</sup>.

### **Sólidos solubles totales (SST)**

De frutos cortados longitudinalmente, se colocaron 3 gotas de jugo sobre la celda de un refractómetro digital ATAGO PR-100 con escala de 0-32% (Honcho, Itabashi-Ku, Tokyo Japón), obteniendo el valor en °Brix.

### **Acidez Titulable (AT)**

Se tomó una alícuota de 10 mL de jugo obtenida directamente del extractor de jugos, se le adicionaron 3 gotas de fenolftaleína y se tituló con NaOH 0.1 N de acuerdo con la metodología de la AOAC (1990), obteniendo la acidez en base a la expresión: % acidez = (mL NaOH x N NaOH x Meq ác. cítrico (0.064) x 100)/alícuota.

### **Relación SST/AT**

Se obtuvo como el cociente entre SST y AT.

### **Firmeza**

Con un texturómetro FDV-30 (Greenwich, CT 06836, USA) de puntal cónico de 0.8 mm de diámetro, se midió la firmeza del fruto, tomando dos lecturas en un plano ecuatorial y opuesto, registrando la resistencia de la piel a la punctura en newtons (N).



### **Color (Croma, Hue y Luminosidad)**

Empleando el colorímetro Hunter Lab D25-PC2 (Reston, Virginia, USA), en el fruto se midieron los valores L, a y b en un plano ecuatorial y de forma opuesta. 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 =  $(a^2+b^2)^{1/2}$ ; y la brillantez o luminosidad “L” obtenido directamente con el colorímetro, los cuales corresponden al espacio de color L\*a\*b\* según Minolta (2007).

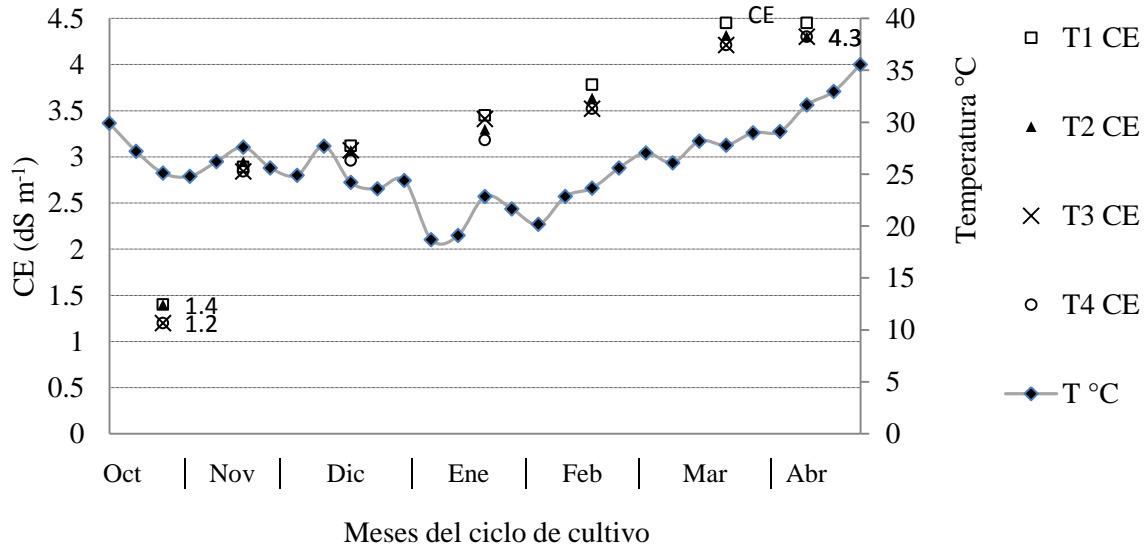
### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Durante el periodo de fructificación, la temperatura promedio diurna osciló de 18 a 35 °C (Figura 1), la cual puede repercutir en el color del fruto de acuerdo a lo reportado por Vogele (1937), Tomes (1963) y Brandt *et al.* (2006) en la síntesis del licopeno.

Debido a que durante el ciclo de cultivo se suministró solo la fracción de humedad “agua fácilmente disponible”, sin pérdidas de agua y fertilizantes, se generaron efectos de salinidad y alcalinidad en el sustrato. La CE de la solución drenada incrementó en la misma magnitud en todos los tratamientos, iniciando con promedios de 1.3 en el primer mes de cultivo, hasta 4.3 dS m<sup>-1</sup> al final del experimento (Figura 1), lo cual puede provocar efectos sobre la calidad del fruto como lo indicado por (Mizrahi, 1982; Cuartero y Fernández-Muñoz, 1999; Tüzel *et al.*, 2003) puesto que esta es una especie moderadamente sensible a la salinidad con un umbral de tolerancia de 2.5 dS m<sup>-1</sup> en la rizósfera de la planta (Maas y Hoffman, 1977). Así mismo, el pH presentó la misma tendencia que la CE, partiendo de 6.5 en el primer mes de cultivo hasta alcanzar 8.4 en la conclusión del experimento en todos los tratamientos (datos no mostrados), posibilitando este fenómeno, el bloqueo de algunos nutrimentos para las plantas, principalmente por la formación de: carbonatos de calcio y magnesio cuando el pH aumenta >8.3; fosfatos de calcio cuando el producto de la concentración de estos dos iones rebasa los 2.2 mol.m<sup>-3</sup>; y reduciendo la solubilidad de Fe<sup>2+</sup> y Mn<sup>2+</sup> (Steiner, 1984; Lara, 1999; Núñez, 2008).

Ambos efectos en el pH y CE de la solución que se mantuvo en contacto con la raíz, es atribuido a la falta de una fracción del volumen de riego diario para el lavado de sales de acuerdo a lo recomendado para evitar riesgos de salinización y reducción del rendimiento (U.S. Salinity Laboratory Staff, 1954; Rhoades, 1974; 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).



**Figura 1. CE de la solución drenada del sustrato y temperatura durante el cultivo.**

Las diferentes granulometrías de tezontle evaluadas, mostraron efectos significativos en pH y % del jugo del fruto de tomate. En el pH del jugo, el mejor tratamiento fue T1 pero sin diferencias significativas con T4. De manera similar, T2 no mostró diferencias significativas en los tratamientos (T1 y T4) que mejor influyeron en el % de jugo el cual tuvo un comportamiento parecido al pH del jugo (Cuadro 1).

Yurtseven *et al.* (2005) encontraron una disminución de apenas 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<sup>-1</sup>, lo cual se asemeja a estos resultados en los cuatro tratamientos, siendo en promedio pH 4.79 con incrementos en la salinidad desde 3.4 hasta 4.3 dS m<sup>-1</sup> en el periodo de producción (enero a abril, Figura 1). No obstante, este atributo varía de acuerdo al genotipo ya que se reportan valores de pH del jugo de tomate de 3.78 a 5.25 (Turhan y Seniz, 2009). Así mismo, el % de jugo se comportó similar al pH del jugo, mostrando poca variación (<3%) en T3 con respecto al mejor tratamiento T1 con 92.32% de jugo.

**Cuadro 1. Calidad química de frutos de tomate en madurez de consumo.**

Tratamiento	Tez $\Theta$ (mm)	pH	CE (mS cm <sup>-1</sup> )	% jugo	AT (%)	SST (°Brix)	SST/AT
T1	3-5	4.86 a <sup>§</sup>	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
DMS <sup>†</sup>	---	0.0949	0.3944	2.2123	0.1137	0.4692	2.0158
CV <sup>¶</sup>	---	1.0948	4.1395	1.3473	10.1945	3.6371	9.5499

<sup>†</sup>DMS: diferencia mínima significativa; <sup>¶</sup>CV: coeficiente de variación; <sup>§</sup>medias con misma letra en columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

El tamaño de partícula de tezontle no afectó el comportamiento de los SST, AT, relación SST/AT y la CE del jugo de tomate (Cuadro 1). Sin embargo, debido a la salinidad obtenida (Figura 1), se obtuvieron valores superiores en estos parámetros de calidad de acuerdo a los rangos promedio reportados en SST 3.4 a 5.5 °Brix y AT 0.22 a 0.4% para diferentes variedades y ambientes de cultivo (Cantwell *et al.*, 2007; Turhan y Seniz, 2009).

A pesar de no haber efectos por el tamaño de partícula de tezontle, el comportamiento del promedio de los resultados en SST (7.13 °Brix) y AT (0.6165%) son atribuidos a la salinidad (Figura 1) ya que se han reportado sus efectos en estos atributos de calidad. Cuartero y Fernández-Muñoz (1999), señalaron un aumento proporcional en los sólidos solubles de 4.7 a 8 °Brix y acidez (75 a 232 meq L<sup>-1</sup>) de 0.48 a 1.48% a medida que incrementó la salinidad de 2 a 9 dS m<sup>-1</sup>. Mientras que Yurtseven *et al.* (2005) encontraron 7.5 °Brix a una CE de 5 dS m<sup>-1</sup> en la solución nutritiva.

Al-Yahyai *et al.* (2010) encontraron una relación SST/AT de 13.16 y 12.60 a salinidades de 6 y 9 dS m<sup>-1</sup>, siendo en promedio 9.5% superior con respecto al promedio (11.665) de esta variable (Cuadro 1), lo cual se atribuye a una menor salinidad encontrada en el sustrato (Figura 1).

Tuzel *et al.* (2003) no encontraron diferencias significativas en la CE del jugo de tomate a salinidades de la solución nutritiva de 2 a 6 dS m<sup>-1</sup>, lo cual se asemeja a los resultados de esta

investigación por los efectos de salinidad encontrados (Figura 1) sobre la CE del jugo donde se obtuvieron entre 5.08 y 5.46 mS cm<sup>-1</sup> (Cuadro 1).

A pesar de los efectos benéficos de la salinidad sobre la calidad del fruto de tomate, estos deben ser manipulados cuidadosamente porque tienden a ser más sensibles a la respiración y síntesis de etileno; y se incrementa la pudrición apical durante la producción (del inglés BER) (Mizrahi, 1982; Hobson, 1988; Adams y Ho, 1992; Saure, 2001; Tüzel *et al.*, 2003).

A excepción del Croma, los diferentes tamaños de partícula de “tezontle” presentaron efectos en los atributos de color Luminosidad y Hue, ambos evaluados en el espacio de color L\*a\*b\* (CIELab). Resultando el tezontle de 5 a 10 mm Ø el mejor tratamiento para la luminosidad y el tezontle de 10 a 20 y 20 a 30 mm Ø para Hue (Cuadro 2).

**Cuadro 2. Calidad física de frutos de tomate en madurez de consumo.**

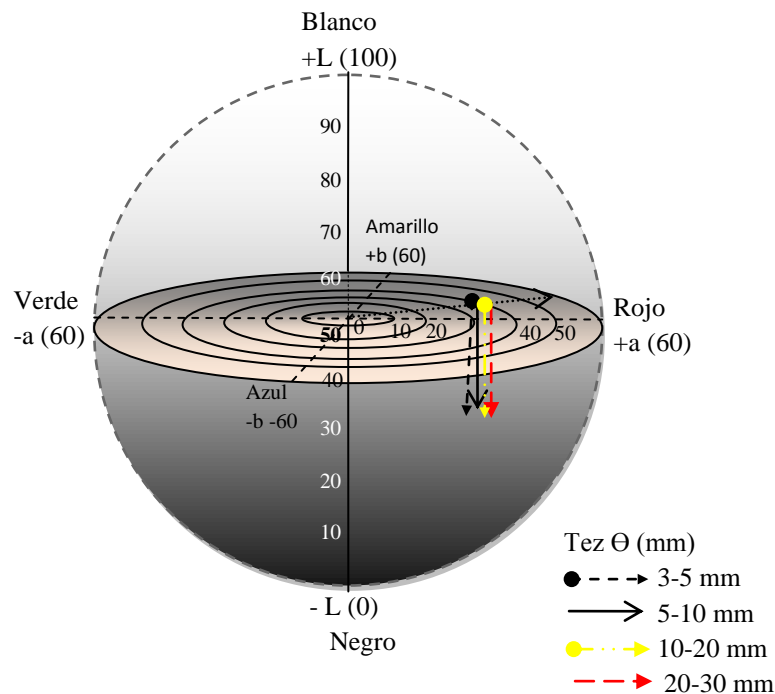
Tratamiento	Tez Ø (mm)	Color			Firmeza (N)
		Luminosidad	Hue	Croma	
T1	3-5	31.40 b	32.02 b	28.64 a <sup>§</sup>	1.52 b
T2	5-10	32.12 a	32.70 ab	29.08 a	1.60 ab
T3	10-20	31.88 ab	33.38 a	29.04 a	1.66 a
T4	20-30	31.78 ab	33.14 a	29.30 a	1.60 ab
DMS <sup>†</sup>	---	0.6562	1.0461	1.0774	0.1279
CV <sup>¶</sup>	---	1.1405	1.7621	2.0520	4.4333

<sup>†</sup>DMS: diferencia mínima significativa; <sup>¶</sup>CV: coeficiente de variación; <sup>§</sup>medias con misma letra en columnas no son estadísticamente diferentes (Tukey, p≤ 0.05).

El tono rojo del fruto de tomate es resultado de la síntesis de licopeno (Giuliano *et al.*, 1993; Fraser *et al.*, 1994; White 2002) donde se han reportado efectos por salinidad desde 0.5 a 15.7 dS m<sup>-1</sup>, el cual promueve un comportamiento sigmoidal de este carotenoide, resultando el mayor contenido de licopeno a 4.4 dS m<sup>-1</sup> (De Pascuale *et al.*, 2001). Sin embargo, a pesar de la salinidad encontrada en la rizósfera (Figura 1) esto no concuerda por los valores promedio bajos en el ángulo de tono (32.81) y pureza del color ó Croma (29), obtenidos en esta investigación,

posiblemente por la temperatura registrada entre 28 y 29 °C y mayores de 30 °C durante la cosecha de los frutos del segundo y tercer racimo respectivamente, la cual incide en la síntesis de licopeno y por lo tanto en los atributos del color Hue y Cromo. En frutos unidos a la planta, a temperaturas entre 19 y 30 °C se favorece la síntesis de licopeno, pero con un mayor contenido de este pigmento a 26.5 °C que a 20 °C (Went *et al.*, 1942; Brandt *et al.*, 2006).

En el espacio de color L\*a\*b\* (Figura 2), el fruto de tomate se ubica como un color rojo opaco porque los resultados promedio de este estudio fueron inferiores en Hue (32.81) 12.5% y Luminosidad (31.795) 20.5% según los rangos 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.



**Figura 2. Color del fruto de tomate en el espacio de color L\*a\*b\*.**

El tamaño de partícula de tezontle afectó la firmeza, siendo 9% superior en T3 comparado con el valor más bajo en T1, pero sin diferencias significativas con T2 y T4 (Cuadro 2). A pesar de las diferencias encontradas, los resultados promedio (1.595 N, equivalente a 1.99 N mm<sup>-1</sup>) de este estudio, comparativamente fueron 37% superior de acuerdo con Batu (2004) quien señala que los frutos de tomate 100% comercializables deben tener 1.45 N mm<sup>-1</sup> y en la etapa de uso doméstico

mayor de  $1.28 \text{ N mm}^{-1}$ . 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), el cual incide en este atributo (ZhiHua y ZhiHui, 2009). Sin embargo, por el tiempo de evaluación (hasta el cuarto racimo) los efectos negativos por salinidad y alcalinidad sobre este atributo no fueron visibles.

A pesar de los resultados obtenidos en este estudio, los atributos de calidad del fruto como color, SST, índices de acidez, pH, firmeza, entre otros, son afectados por las variaciones genóticas, condiciones de crecimiento, irradiancia, estación de cultivo, nutrición, riego, temperatura, enfermedades y condiciones postcosecha (Salunkhe, *et al.*, 1974; Gull *et al.*, 1977; Winsor, 1979; Davies y Hobson, 1981; Brandt *et al.*, 2006; Turhan y Seniz, 2009).

## CONCLUSIONES

El tamaño de partícula de tezontle mezclado con polvo y fibra de coco en la proporción 3:1 *per se* no afectó la calidad química del tomate en los sólidos solubles totales, acidez titulable, relación sólidos solubles totales/acidez titulable, conductividad eléctrica, pH y porcentaje de jugo; y la calidad física del fruto medido por la firmeza y el color en Luminosidad, Cromo y Hue. Sin embargo, por las condiciones de cultivo en el suministro de humedad de “agua fácilmente disponible” sin pérdidas de humedad y fertilizantes, se generaron efectos de salinidad y alcalinidad en el sustrato, los cuales además de la temperatura, influyeron en los atributos de calidad fisicoquímica del fruto de tomate producido en este sistema de cultivo.

## LITERATURA CITADA

- Adams, P., and L. C. Ho. 1992. The susceptibility of modern tomato cultivars to Blossom-End Rot in relation to salinity. *The Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 67(6): 827-840.
- 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* 83-88.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. *Official Methods of Analysis*. 15th edition. Ed. Washington DC, USA.
- Batu, A. 2004. Determination of acceptable firmness and color values of tomatoes. *Journal of Food Engineering* 61: 471-475.

- Brandt, S., Z. Pek, E. Barna, A. Lugasi, and L. Helyes. 2006. Lycopene content and colour of ripening tomatoes as affected by environmental conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 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 Reviews in Food Science and Nutrition* 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 Pascale, S., A. Maggio, V. Fogliano, P. Ambrosino, and A. Ritieni. 2001. Irrigation with saline water improves carotenoids content and antioxidant activity of tomato. *The Journal of Horticultural Science & Biotechnology* 76(4): 447-453.
- 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 Physiology* 105(1): 405-413.
- 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.
- Giuliano, G., G. E. Bartley, and P. A. Scolnik. 1993. Regulation of carotenoid biosynthesis during tomato development. *The Plant Cell* 5: 379-387.
- Grierson, D., and A. A. Kader. 1986. Fruit ripening and quality. *In*: J. G. Atherton, and J. Rudich (eds). *The Tomato Crop. A Scientific Basis for Improvement*. Chapman and Hall, London and New York. pp: 241-280.
- Gull, D. D., S. J. Locascio, and S. R. Kostewicz. 1977. Composition of greenhouse tomatoes as affected by cultivar, production media and fertilizer. *Proc. Fla. State Hort. Soc.* 90: 395-397.
- Hobson, G. E. 1988. Pre- and post-harvest strategies in the production of high quality tomato fruit. *Applied Agricultural Research* 3(5): 282-287.
- Kader, A. A. 2002. Quality and safety factors: definition and evaluation for fresh horticultural crops. *In*: A. A. Kader (ed). *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. Third edition. University of California, Agriculture and Natural Resources Pub. 3311. USA. pp: 279-286.
- Kader, A. A., M. A. Stevens, M. Albright-Holton, L. L. Morris, and M. Algazi. 1977. Effect of fruit ripeness when picked on flavor and composition in fresh market tomatoes. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 102(6): 724-731.
- Lara H., A. 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra* 17(3): 221-229.
- Maas, E. V., and G. J. Hoffman. 1977. Crop salt tolerance, current assessment. *Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE* 103(2): 115-134.
- Minolta, K. 2007. *Precise color communication*. Kónica Minolta Sensing, Inc. Japan. 59 p.
- Mizrahi, Y. 1982. Effect of salinity on tomato fruit ripening. *Plant Physiology* 69: 966-970.

- Núñez E., R. 2008. El suelo como medio natural en la nutrición de cultivos. *In*: L. I. Trejo-Tellez, y G. Alcantar G. (eds.) Nutrición de cultivos. 2ª reimpression. Edit. Mundi-Prensa. México. pp: 93-157.
- Ojodeagua A., J. L., J. Z. Castellanos R., J. J. Muñoz R., G. Alcantar 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. *Revista Fitotecnia Mexicana* 31(4): 367-374.
- 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 Reviews International* 2 (3): 309-351.
- Rhoades, J. D. 1974. Drainage for salinity control. *In*: J. van Schilfgaarde (Ed.). Drainage for Agriculture. Agronomy Monograph No. 17. SSSA, Madison, WI. pp: 433-461.
- Salunkhe, D. K., S. J. Jadhav, and M. H. Yu. 1974. Quality and nutritional composition of tomato fruits as influenced by certain biochemical and physiological changes. *Qual. Plant. Plant Foods for Human Nutrition* 24(1-2): 85-113.
- Saure, M. C. 2001. Blossom-end rot of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) – a calcium- or a stress-related disorder?. *Scientia Horticulturae* 90:193-208.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. *In*: Proceedings Sixth International Congress on Soilless Culture, ISOSC. Lunteren, Wageningen, The Netherlands. pp. 633-650.
- Turhan, A. and V. Seniz. 2009. Estimation of certain chemical constituents of fruits of selected tomato genotypes grown in Turkey. *African Journal of Agricultural Research* 4(10): 1086-1092.
- Tomes, M. L. 1963. Temperature inhibition of carotene synthesis in tomato. *Botanical Gazette* 124(3): 180-185.
- Tucker, G., N. Robertson, and D. Grierson. 1980. Changes in polygalacturonase isoenzymes during the ripening of normal and mutant tomato fruit. *European Journal of Biochemistry* 112: 119-124.
- 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.
- Vogele, A. C. 1937. Effect of environmental factors upon the color of tomato and the watermelon. *Plant Physiology* 12: 929-955.
- Went, F. W., A. L. LeRosen, and L. Zechmeister. 1942. Effect of external factors on tomato pigments as studied by chromatographic methods. *Plant Physiology* 17(1): 91-100.
- 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. *Journal of Experimental Botany* 53(377): 1995-2000.
- Zhi-Hua, G., and C. Zhi-Hui. 2009. Effects of foliage application of calcium on fruit firmness and quality related indexes in processing tomato. *Journal of Northwest A&F University-Natural Science* 37(10): 145-150.



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*). *Agricultural Water Management* 78: 128-135.

## CONCLUSIONES GENERALES

Como sustrato puro, el “tezontle” presenta muy baja retención de agua y una alta capacidad de aireación.

La porosidad total y la porosidad de retención de humedad son afectados positivamente conforme incrementa la proporción de polvo y fibra de coco sobre el “tezontle”, siendo la proporción 3:1 (Tez:PFC) la mejor mezcla en cada tamaño de partícula de “tezontle”.

A igualdad de condiciones hídricas, nutrimentales y propiedades físicas del sustrato, el tamaño de partícula de “tezontle” no afectó la altura de la planta, materia seca de hojas, materia seca de tallos, la relación hoja tallo y el rendimiento de tomate producido en “tezontle” mezclado con 25% de polvo y fibra de coco.

El tamaño de partícula de “tezontle” mezclado con polvo y fibra de coco en la proporción 3:1 *per se* no afectó: la calidad química del tomate en los sólidos solubles totales, acidez titulable, relación sólidos solubles totales/acidez titulable, CE del jugo, pH del jugo, porcentaje de jugo; y la calidad física del fruto medido por la firmeza y los atributos de color Luminosidad, Cromo y Hue.

La restricción impuesta por la fracción de humedad del sustrato en el rango “agua fácilmente disponible” sin pérdidas de agua y fertilizantes, generó efectos de salinidad y alcalinidad en la rizósfera, los cuales por una parte disminuyeron el rendimiento, materia seca de hojas y pH del jugo del fruto; mientras que por otra parte, en los parámetros de calidad del fruto en sólidos solubles totales, acidez titulable, relación sólidos solubles totales/acidez titulable y CE del jugo de tomate ejercieron un efecto positivo.

Así mismo, la temperatura registrada durante el ciclo de cultivo, afectó negativamente el color del fruto (Hue).

## RECOMENDACIONES

El “tezontle” tipo sello, procedente directamente de la mina y sin cribar, mezclado con 25% de polvo y fibra de coco presenta las condiciones físicas adecuadas para ser utilizado en la producción de tomate

En agricultura protegida, proporcionar las condiciones hídricas y nutrimentales en el rango “agua fácilmente disponible”, puede ser factible en la producción de tomate en “tezontle” mezclado con polvo y fibra de coco, siempre y cuando se efectúen estudios posteriores sobre la conductividad eléctrica de la rizósfera de la planta, debido a los efectos positivos y negativos que se presentan en el fruto de esta especie.