



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

---

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD**

**FISIOLOGÍA VEGETAL**

## **CALIDAD POSTCOSECHA Y NUTRACÉUTICA DE GENOTIPOS NATIVOS DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)**

**FABIOLA PÉREZ DÍAZ**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRA EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO**

**2018**

**CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION**

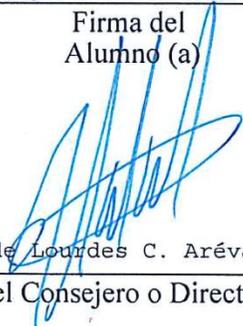
En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Fabiola Pérez Díaz, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser participe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis Calidad postcosecha y nutracéutica de genotipos nativos de tomate (Solanum lycopersicum L.)

y de los producto de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre el colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 05 de junio de 2018



Firma del  
Alumno (a)



Dra. Ma. de Lourdes C. Arévalo Galarza  
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: “**CALIDAD POSTCOSECHA Y NUTRACÉUTICA DE GENOTIPOS NATIVOS DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)**” realizada por la alumna: **Fabiola Pérez Díaz** bajo dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS

FISIOLOGÍA VEGETAL

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERA

---

DRA. MA. DE LOURDES C. AREVALO GALARZA

DIRECTORA DE TESIS

---

DRA. LAURA J. PÉREZ FLORES

ASESOR

---

DR. RICARDO LOBATO ORTIZ

ASESORA

---

DRA. MARTHA ELVA RAMÍREZ GUZMÁN

Montecillo, Estado de México, junio 2018

# **CALIDAD POSTCOSECHA Y NUTRACÉUTICA DE GENOTIPOS NATIVOS DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L).**

Fabiola Pérez Díaz, M. en C.  
Colegio de Postgraduados, 2018

## **RESUMEN**

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una fuente importante de compuestos funcionales. México como centro de domesticación tiene una amplia diversidad morfológica de frutos como el tipo riñón, cereza, ojo de venado (OV), chino criollo (CC), pera, bola, saladette, así como variabilidad genética. Estos materiales pueden ser usados para el mejoramiento del sabor y el contenido de compuestos funcionales de los frutos, características que se han perdido en las variedades comerciales. En este estudio se evaluaron ocho genotipos de tomate nativos provenientes de Veracruz y Puebla, un híbrido experimental y un híbrido comercial, clasificados por su forma en cinco grupos cereza, OV, CC, riñón y saladette. Los parámetros evaluados fueron el crecimiento de frutos, pérdida de peso (PP), color, firmeza, sólidos solubles totales, acidez titulable (AT), SST/AT, azúcares, ácidos orgánicos, fenoles totales, ácido ascórbico, carotenoides y actividad antioxidante (hidrofilica y lipofilica). Los frutos se cosecharon en estado 1 (rompiente) y 4 (rojo) y se analizaron a los 0, 7 y en algunos casos a los 14 días de almacenamiento. Los frutos del genotipo CC LOR102 presentaron menor PP y mayor firmeza, cosechados en estado 1 y 4, sin embargo, presentaron alta incidencia de hongos. En los frutos cosechados en estado 4, los del tipo riñón fueron los que alcanzaron menor vida de anaquel. Se encontraron genotipos, con potencial para ser usados como fuente de germoplasma en programas de mejoramiento para incrementar el contenido de ácidos orgánicos (LOR88), azúcares (LOR77 y LOR119) y contenido de antioxidantes como compuestos fenólicos y carotenoides (LOR52) y vitamina C (LOR102) para proporcionar mayor calidad sensorial y nutracéutica a los frutos de tomate.

**Palabras clave:** *Solanum lycopersicum*, compuestos funcionales, calidad sensorial.

# **POST-HARVEST AND NUTRACEUTICAL QUALITY OF NATIVE GENOTYPES OF TOMATO (*Solanum lycopersicum* L.)**

Fabiola Pérez Díaz, M. en C.  
Colegio de Postgraduados, 2018

## **ABSTRACT**

Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is an important source of functional compounds. Mexico as domestication center has hundreds of tomato genotypes and exhibits a wide morphological and genetic diversity of fruits such as kidney, cherry, ojo de venado (OV), chino criollo (CC), pear, round and saladette. These genotypes can be used to improve the flavor and the content of functional compounds of fruits, features which have been lost in commercial varieties. In this study, eight native tomato genotypes from the states of Veracruz and Puebla, one experimental hybrid (CP-HER) and one commercial hybrid (CID-HC), were assessed for quality parameters and functional compounds. Genotypes were classified by their shape into cherry, OV, CC, kidney and saladette groups. The parameters evaluated were fruit growth, weight loss, color, firmness, total soluble solids (TSS), titratable acidity (AT), TSS/AT, sugars, organic acids, total phenols, ascorbic acid, carotenoids and antioxidant activity (hydrophilic and lipophilic). Fruits were harvested in stage 1 (breaker) and 4 (red) and analyzed at 0, 7 and in some cases at 14 days of storage. The fruits of the genotype CC LOR102 (harvested in stages 1 and 4) showed lower weight loss and greater firmness, however, had high incidence of fungi. The kidney-type genotypes reached the shortest shelf-life of the fruits harvested in stage 4. Genotypes were found to be a potential source of germplasm for breeding programs aiming to increase the content of organic acids (LOR88), sugars (LOR77 and LOR119), antioxidants such as phenolic compounds and carotenoids (LOR52) and vitamin C (LOR102), which could lead to an increased sensory and nutraceutical quality.

**Keywords:** *Solanum lycopersicum*, functional compounds, sensory quality, genotypes.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Colegio de Postgraduados Campus Motecillo por brindarme la oportunidad de continuar con mi formación profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento otorgado para la realización de mis estudios de postgrado.

A la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Iztapalapa por abrirme las puertas de sus instalaciones.

A la Dra. Laura J. Pérez Flores por todo su conocimiento, observaciones, disposición y paciencia en la realización de este trabajo.

A la Dra. Ma. de Lourdes Arévalo Galarza por todas sus enseñanzas, aportaciones, disposición y paciencia en la realización de este trabajo; además de sus valiosos consejos que me ayudaron a mantener la calma en todo momento.

A la Dra. Martha E. Ramírez Guzmán y el Dr. Ricardo Lobato Ortiz por sus conocimientos, comentarios y sugerencias.

A la M. Cecilia García por su disposición y asesoría en la cuantificación de azúcares.

A la Sra. Isidra por su ayuda durante el procesamiento de mis muestras.

A Dios que me ha llenado de bendiciones y me ha permitido cumplir con cada una de mis metas.

A mis padres por todo su apoyo incondicional y confianza en mí. A mis hermanos Marcos, Araceli y Verónica por tenerme paciencia y estar siempre a mí lado.

A mi sobrina Madai por ser una motivación para ser mejor, a mi cuñada, mi tía Eugenia, mis primos Ángel y Oscar por escucharme y compartir conmigo este paso más.

A Cristián Vela por toda su ayuda, sugerencias, motivación, grandiosos consejos y brindarme su amistad.

A Sandoval, Raúl, Vicky, Marlen, Juan Manuel Villa, Rayn, Denise y Addy por toda su amabilidad y ayuda; además de todos los momentos compartidos y por alegrarme el día.

A la Dra. Leticia Ponce de León y la Dra. Claudia Barbosa por ser grandiosas personas conmigo, por sus valiosos consejos e impulsarme a seguir adelante.

A todos aquellos que por falta de memoria no están incluidos y comparten conmigo cada uno de mis logros.

## CONTENIDO

	Página
<b>RESUMEN</b> .....	iv
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	x
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	xii
<b>INTRODUCCIÓN GENERAL</b> .....	1
Revisión de literatura .....	1
Hipótesis .....	9
Objetivo general .....	9
Objetivos específicos .....	9
Literatura citada .....	10
<b>CAPÍTULO I. DESARROLLO Y CALIDAD POSTCOSECHA DE GENOTIPOS NATIVOS DE TOMATE (<i>Solanum lycopersicum</i> L.)</b>	
1.1 Resumen .....	18
1.2 Introducción .....	19
1.3 Materiales y métodos .....	21
1.3.1 Material vegetal .....	21
1.3.2 Diseño experimental y análisis estadístico .....	22
1.3.3 Siembra de los materiales .....	23
1.3.4 Cosecha de frutos .....	24
1.3.5 Preparación del material .....	24
1.3.6 Variables evaluadas .....	24
1.3.6.1 Crecimiento y madurez de los frutos .....	24
1.3.6.2 Parámetros de calidad .....	25
1.4 Resultados y discusión .....	28
1.4.1 Crecimiento y madurez de los frutos .....	28
1.4.2 Parámetros de calidad .....	32
1.5 Conclusiones .....	44
1.6 Literatura citada .....	45

**CAPÍTULO II. ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y COMPUESTOS FUNCIONALES DE GENOTIPOS NATIVOS DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)**

2.1 Resumen .....	50
2.2 Introducción .....	51
2.3 Materiales y métodos .....	53
2.3.1 Material vegetal .....	53
2.3.2 Diseño experimental y análisis estadístico .....	54
2.3.3 Siembra de los materiales .....	55
2.3.4 Cosecha de frutos .....	56
2.3.5 Preparación del material .....	56
2.3.6 Extracción de las fases hidrofílica y lipofílica .....	56
2.3.7 Variables evaluadas .....	57
2.3.7.1 Compuestos funcionales .....	57
2.3.7.2 Actividad antioxidante .....	58
2.4 Resultados y discusión .....	59
2.4.1 Compuestos funcionales .....	59
2.4.2 Actividad antioxidante (AAH y AAL) .....	66
2.4.3 Componentes principales (compuestos funcionales y AA).....	69
2.5 Conclusiones .....	71
2.6 Literatura citada .....	72
<b>CONCLUSIONES GENERALES .....</b>	<b>77</b>

## LISTA DE CUADROS

Página

### CAPÍTULO I

<b>Cuadro 1.</b> Peso promedio y desviación estándar de los tipos de frutos de tomate. ....	28
<b>Cuadro 2.</b> Ecuaciones del modelo logístico para el diámetro polar y transversal durante el crecimiento de los frutos de tomate, cultivados bajo las mismas condiciones de invernadero. ....	30
<b>Cuadro 3.</b> Parámetros de color de los frutos en cuatro estados de madurez de genotipos nativos e híbridos de tomate. ....	33
<b>Cuadro 4.</b> Parámetros de firmeza, SST, AT, IM de genotipos de tomate en dos estados de madurez y su almacenamiento. ....	37
<b>Cuadro 5.</b> Contenido de azúcares y ácidos orgánicos de genotipos nativos e híbridos de tomate en dos estados de madurez y almacenamiento. ....	43
<b>Cuadro 6.</b> Coeficientes de correlación de variables de calidad sensorial de genotipos nativos e híbridos de tomate. ....	44

## CAPÍTULO II

<b>Cuadro 1.</b> Identificación de frutos de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) de genotipos nativos, híbrido experimental e híbrido comercial. ....	53
<b>Cuadro 2.</b> Contenido de fenoles totales y ácido ascórbico de genotipos nativos e híbridos de tomate en dos estados de madurez y almacenamiento. ....	61
<b>Cuadro 3.</b> Contenido de carotenoides de genotipos nativos e híbridos de tomate en dos estados de madurez y almacenamiento. ....	65
<b>Cuadro 4.</b> Actividad antioxidante de genotipos nativos e híbridos de tomate en dos estados de madurez y almacenamiento. ....	67
<b>Cuadro 5.</b> Coeficientes de correlación de compuestos funcionales de genotipos nativos e híbridos de tomate. ....	68
<b>Cuadro 6.</b> Vectores de los componentes principales 1 y 2 de compuestos funcionales de genotipos nativos e híbridos de tomate. ....	69

## LISTA DE FIGURAS

	Página
INTRODUCCIÓN	
<b>Figura 1.</b> Desarrollo del fruto de tomate (Azzi, <i>et al.</i> , 2015). ....	3
CAPÍTULO I	
<b>Figura 1.</b> Origen y tipo de frutos de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.) de genotipos nativos, híbrido experimental e híbrido comercial. ....	21
<b>Figura 2.</b> Crecimiento acumulado de los frutos de tomate cultivados bajo condiciones de invernadero. ....	29
<b>Figura 3.</b> Cuatro estados de madurez de los genotipos nativos e híbridos (experimental y comercial). ....	31
<b>Figura 4.</b> Pérdida de peso (PP) durante el almacenamiento a $23.5 \pm 0.04$ °C y $56.39 \pm 0.58$ % humedad de los frutos de tomate cosechados en dos estados de madurez. ....	35
CAPÍTULO II	
<b>Figura 1.</b> Análisis de los dos primeros componentes principales de compuestos funcionales de frutos en estado 1 y 2 de genotipos nativos e híbridos. ....	70

## INTRODUCCIÓN GENERAL

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### **Origen y distribución**

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) pertenece a la familia de las Solanáceas, es originario del oeste de América del Sur, distribuido desde Ecuador al norte de Chile posteriormente se distribuyó hacia el trópico y subtrópico de México, país que se considera centro de domesticación, además de Perú (Peralta *et al.*, 2006).

En México esta especie se distribuye desde Sinaloa hasta Chiapas, incluyendo la península de Yucatán (Carrillo-Rodríguez *et al.*, 2013). Se puede encontrar tanto en zonas de vegetación natural (zonas áridas o húmedas) como asociado a campos de cultivo donde se le considera maleza (Peralta *et al.*, 2006, Sánchez-Peña *et al.*, 2006).

La diversidad genética de esta especie le ha permitido sobrevivir en condiciones extremas y se ha adaptado para enfrentarse a diferentes adversidades, desarrollando resistencia a plagas y enfermedades comúnmente dañinas para el cultivo, así como tolerancia a altas y bajas temperaturas, sequías y condiciones edáficas adversas (Peralta *et al.*, 2006; Crisanto-Juárez *et al.*, 2010; Vásquez-Ortiz *et al.*, 2010; Flores-Hernández *et al.*, 2017).

En la actualidad se puede encontrar la mayor diversidad morfológica de frutos dentro de los materiales criollos y silvestres de tomate. La distinción de los frutos se realiza dependiendo de la zona y a partir de las características morfológicas (color, tamaño, forma) que los definen como tipo riñón, chino criollo o cuadrado, ojo de venado, cereza, saladette, pera, bola, etc. (Vásquez-Ortiz *et al.*, 2010; Bonilla-Barrientos *et al.*, 2014). De las colectas realizadas a nivel mundial se estima que el 80 % no han tenido ningún tipo de caracterización (Marín-Montes *et al.*, 2016).

La variabilidad genética de tomate encontrada en México, le hace una importante fuente genética para el mejoramiento de esta especie (Rick y Holle, 1990; Sánchez-Peña *et al.*, 2006; Álvarez-Hernández *et al.*, 2009; De los Ángeles Martínez-Vázquez *et al.*, 2017).

### **Importancia del tomate**

El fruto de tomate es una fuente importante de compuestos funcionales que aportan los frutos, como son licopeno (71.6 %), vitamina C (12 %),  $\beta$ -caroteno (17.2 %), vitamina E (6 %), fenoles, entre otros (Raffo *et al.*, 2003).

El tomate una de las hortalizas que presenta mayor demanda no sólo en México, sino a nivel mundial, debido a su color atractivo, valor nutricional, aroma y versatilidad de uso, ya que se consume solo o como ingrediente de diversos alimentos y bebidas, en fresco (ensaladas) o procesado (salsa, pastas, purés, jugos, etc.) para posteriormente ser enlatado, congelado, preservado o deshidratado (Beckles, 2012; Bhandari y Lee, 2016).

En los últimos años su consumo ha incrementado constantemente. Mundialmente el consumo *per cápita* de tomate ha incrementado de 15.4 kg en 2001 a 20.2 kg en 2011. En México el consumo *per cápita* de tomate se ubica alrededor de 15 kg por año (FIRA, 2016).

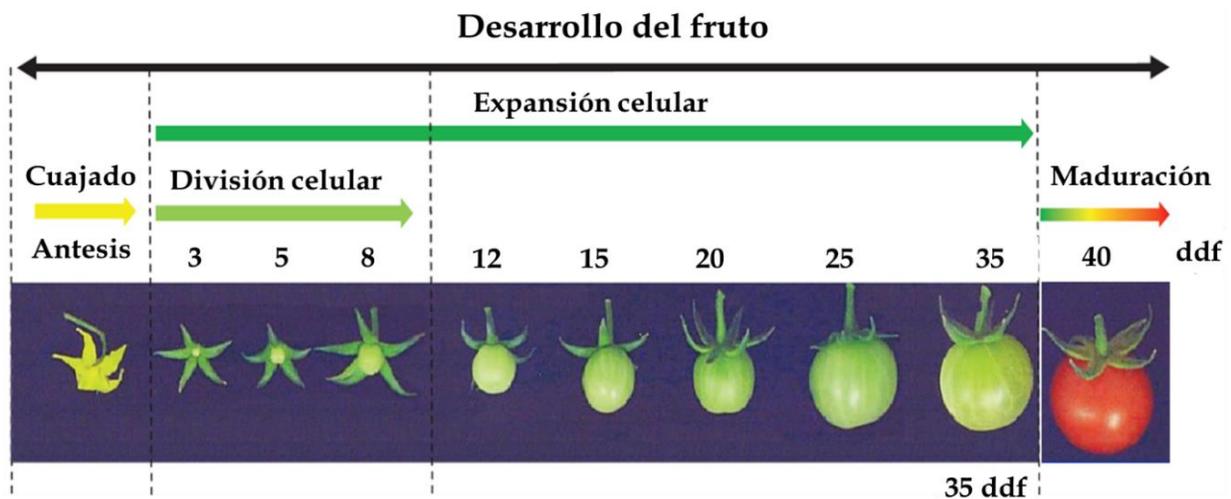
México se encuentra entre los diez principales productores y exportadores mundiales de tomate fresco con una participación estimada en el mercado internacional de 21 % (SAGARPA, 2016). En 2016 se produjeron 2.8 millones de ton, siendo los principales estados productores Sinaloa, Michoacán, San Luis Potosí, Baja California, Jalisco, entre otros (SAGARPA, 2017).

Los tipos de tomate con mayor producción, tanto a campo abierto como en agricultura protegida, son el saladette, el tipo bola, cereza, en racimo y otras especialidades como el tipo Mimi y Campari (FIRA, 2016).

## Crecimiento y desarrollo de los frutos de tomate

El desarrollo de frutos se origina a partir del ovulo, tiene lugar después de la antesis y sólo si la polinización y fecundación son exitosas. En tomate, con el cuajado del fruto comienza su crecimiento en dos fases consecutivas: una de división celular, que dura de 7 a 10 días y una fase de expansión celular (Serrani *et al.*, 2007; Azzi *et al.*, 2015), donde la pared del ovario se comienza a desarrollar en un pericarpio formado por exocarpio, mesocarpio y endocarpio, hasta que el fruto alcanza su tamaño máximo (Serrani *et al.*, 2007; Stikić *et al.*, 2015). El crecimiento de los frutos de tomate es la fase más larga de su desarrollo, ya que varía de 5 a 8 semanas dependiendo el genotipo (Azzi *et al.*, 2015).

Finalmente, el desarrollo del fruto culmina con el proceso de maduración de consumo, fase que se caracteriza por lento crecimiento e intensos cambios metabólicos (Figura 1) (Srivastava y Handa, 2005; Stikić *et al.*, 2015).



**Figura 1. Desarrollo del fruto de tomate (Azzi, *et al.*, 2015).**

Conocer el crecimiento de los vegetales permite la aplicación racional de las labores culturales en el momento adecuado, para garantizar una respuesta óptima del vegetal de acuerdo con nuestras necesidades y exigencias (Casierra-Posada y Constanza-Cardozo, 2009). Algunos autores han medido el crecimiento de los frutos a partir de curvas de crecimiento del diámetro en función del

tiempo, éstas son las más empleadas y tienen la ventaja de ser no destructivas y permitir el seguimiento a lo largo del periodo de crecimiento. (Casierra-Posada y Constanza-Cardozo, 2009). Por medio de curvas de crecimiento es posible establecer el patrón de crecimiento de los frutos, así como determinar la velocidad y dinámica de este proceso (Ardila *et al.*, 2012).

Durante la maduración de los frutos se llevan a cabo cambios fisiológicos, bioquímicos y estructurales, tales como son la degradación de clorofila, la síntesis de carotenoides y otros compuestos, junto con cambios en el color, sabor y firmeza de los frutos, por lo que el análisis de diferentes características de calidad, compuestos funcionales, así como su variación durante la maduración, es de gran relevancia tanto para la salud humana como para fines comerciales (Ilahy *et al.*, 2011).

Los frutos de tomate se pueden cosechar en diferentes estados de madurez, desde rompiente hasta un color rojo, dependiendo de las preferencias del consumidor y del mercado (Ilahy *et al.*, 2011), pero además estos frutos se pueden mantener almacenados por determinado tiempo antes de su consumo.

Sin embargo, a pesar de que los frutos de tomate tienen un comportamiento climatérico, deben cosecharse con un grado de madurez que permita un almacenamiento prolongado sin que se vean alteradas las características fisicoquímicas de los frutos (Casierra-Posada y Aguilar-Avenidaño, 2008).

### **Calidad sensorial del tomate**

Actualmente, la calidad del fruto de tomate fresco no sólo se evalúa mediante atributos externos (tamaño, forma, color y firmeza) e internos (aroma, sabor, textura), sino además por el valor nutraceútico, como el contenido de antioxidantes presentes en los frutos (Causse *et al.*, 2003; Kader, 2003; Cantwell *et al.*, 2007; Urrieta-Velázquez *et al.*, 2012).

Para los operadores comerciales (exportadores, importadores, distribuidores, mayoristas y minoristas) la firmeza y la vida anaquel son atributos de preferencia y de primer orden en los frutos de tomate (Artés y Artés, 2007; Casierra-Posada y Aguilar-Avendaño, 2008), por lo que también son usados como indicadores de calidad del fruto (Batu, 2004).

En la actualidad no sólo se requiere que los frutos presenten una buena apariencia, sino además que tengan un mejor sabor y que aporten una acción benéfica en una o más funciones del organismo, más allá de sus efectos nutricionales, para mejorar el estado de salud y bienestar o para reducir el riesgo de enfermedades (Pelayo-Zaldívar, 2003).

El sabor característico de los frutos del tomate se debe al resultado de una compleja interacción de metabolitos, incluyendo compuestos volátiles (De Jesús Dávila-Aviña *et al.*, 2011), así como la cantidad y los tipos de azúcares y ácidos. Estos compuestos son determinantes para la calidad general de los frutos (Causse *et al.*, 2010; Vogel *et al.*, 2010; Beckles, 2012; Charles *et al.*, 2016).

El índice de madurez (IM) que es la relación sólidos solubles totales (SST)/acidez titulable (AT), es un índice útil para indicar el sabor de los frutos de tomate y da más información que tener por separado a los parámetros de SST y AT (Gómez y Camelo, 2002; Ilić *et al.*, 2015). El contenido de SST es un parámetro que indica el porcentaje de sólidos disueltos en una solución. En la pulpa de los frutos de tomate, está dada en su mayoría por azúcares (glucosa y fructosa 65 %), pero también contribuyen otros compuestos como ácidos (cítrico y málico 13 %) y otros componentes en menor proporción (fenoles, aminoácidos, pectinas solubles, ácido ascórbico y minerales) (Gómez y Camelo, 2002; Martínez-Barajas, 2003; Kader, 2008; Martín-Hernández *et al.*, 2012). Mientras la AT está dada principalmente por equivalentes de ácido cítrico, y en menor proporción el de otros ácidos como el ácido málico (Casierra-Posada y Aguilar-Avendaño, 2008; Beckles, 2012).

La calidad del fruto está afectada por el estado de madurez, ataque de patógenos, manejo inadecuado en la cosecha, en el empaque, almacenamiento y/o en el transporte (Khadi *et al.*, 1987). Durante el almacenamiento prolongado, la calidad de la mayoría de frutos se ve severamente afectada por las pérdidas de agua (transpiración), que dependen de la temperatura y humedad relativa (Bhandari y Lee, 2016).

En estudios anteriores se reporta que al cosechar frutos de tomate en estados tardíos de maduración disminuye la AT y la firmeza (Casierra-Posada y Aguilar-Avedaño, 2008). Esto se debe a que el tomate es un fruto climatérico y después de la cosecha utiliza sus reservas hasta la senescencia (Valle y Rodríguez, 2011); mientras que los SST, el IM (Casierra-Posada y Aguilar-Avedaño, 2008) y la cantidad de licopeno aumentan con la maduración (Artés y Artés, 2007).

### **Compuestos funcionales del tomate**

Entre los compuestos funcionales que aportan los frutos de tomate, se encuentran los compuestos antioxidantes que retrasan o inhiben la oxidación de biomoléculas (Javanmardi y Kubota, 2006), algunos de estos compuestos son los carotenoides (licopeno,  $\beta$ -caroteno y luteína), polifenoles, vitaminas (C y E), minerales, etc. (Krzyzanowska *et al.*, 2010; Anton *et al.*, 2014). Estudios previos muestran que el consumo de tomate está asociado con la baja incidencia de enfermedades crónico degenerativas como algunos tipos de cáncer y enfermedades cardiovasculares (Giovannuci *et al.*, 2002; Krzyzanowska *et al.*, 2010; Anton *et al.*, 2014).

La composición de los frutos puede modificarse dependiendo de la variedad, las condiciones del cultivo, la época de producción, el grado de madurez, el tiempo y las condiciones de almacenamiento (Khadi *et al.*, 1987; Kolota y Adamczewska, 2001), así como la forma en que es consumido (fresco o procesado) (Rick, 1978; Causse *et al.*, 2003).

Estudios previos han reportado que parientes silvestres de *Solanum lycopersicum* L. presentan diferencias entre ellos en relación a caracteres fenológicos, morfológicos, agronómicos y de composición (Vásquez-Ortiz *et al.*, 2010; Flores-Hernández *et al.*, 2017). Algunos genotipos reportados, sobresalen en su composición como son actividad antioxidante, contenido de licopeno, ácido ascórbico, compuestos fenólicos, azúcares, acidez titulable. Características que pueden ser usadas como fuente de nutrientes y compuestos antioxidantes en frutos, como vitamina C, carotenoides, etc. (George *et al.*, 2004; Gonzales-Cebrinos *et al.*, 2011; Kaur *et al.*, 2013).

### **Mejoramiento genético del tomate**

El tomate comercial ha tenido un proceso de selección y domesticación con el fin de obtener mayor rendimiento resistencia a estrés biótico y abiótico, frutos con uniformidad en tamaño, firmeza y vida de anaquel más prolongada (Bai y Lindhout, 2007; Beckles, 2012; Carrillo-Rodríguez *et al.*, 2013). Dos genotipos de tomate (Cchous y 2413L) de Pakistán mostraron resistencia a altas temperaturas (Saeed *et al.*, 2007). Florido-Bacallao *et al.* 2016 reportaron dos cultivares de México con resistencia al estrés hídrico, mientras que Estrada-Trejo *et al.* 2014 encontraron ocho poblaciones de tomate nativos de Puebla y Veracruz tolerantes a la salinidad del suelo y Álvarez-Hernández *et al.* (2009) reportaron incidencia baja de insectos fitófagos que se consideran plaga en tomate, en poblaciones silvestres de tres regiones de Michoacán. Sin embargo, a medida que se ha llevado a cabo este mejoramiento genético se ha encontrado una reducción de la variación genética de la especie y por lo tanto se reducen las opciones de variabilidad (Carrillo-Rodríguez *et al.*, 2013). El cultivo comercial presenta menos del 5 % de la variación genética que presentan los genotipos silvestres (Bai y Lindhout, 2007).

Las características de las variedades modernas obtenidas durante el mejoramiento no siempre coinciden con los deseos de los consumidores, ya que

a menudo se quejan de la reducción en su calidad sensorial y funcional (Causse *et al.*, 2010; Figàs *et al.*, 2015).

Hoy en día, la calidad sensorial y funcional se han convertido en características deseables para el mercado de frutos frescos (Ceballos-Aguirre, *et al.*, 2012; Figàs *et al.*, 2015;). Por lo que, el sabor y el contenido de compuestos antioxidantes son parámetros de evaluación importantes para la calidad de los productos frescos (Lenucci *et al.*, 2006; Ilahy *et al.*, 2011; Kotikova *et al.*, 2011; Bhandari y Lee, 2016).

Los tomates nativos son una de las principales fuentes de germoplasma para el mejoramiento de cultivos (Álvarez-Hernández *et al.*, 2009). En los últimos años ha cobrado importancia la búsqueda de material genético que aumente la variabilidad de la especie debido a la necesidad de incrementar la resistencia a enfermedades, mejorar el valor nutracéutico, aumentar la precocidad y productividad (George *et al.*, 2004; Guil-Guerrero y Reboloso-Fuentes, 2009; Vera-Guzmán *et al.*, 2011; Chávez-Servia *et al.*, 2011; Figàs *et al.*, 2015; Flores-Hernández *et al.*, 2017)

Por lo anterior, se plantea la necesidad de identificar entre los genotipos nativos de tomate, aquéllos con frutos que presenten parámetros sobresalientes de calidad, niveles elevados de compuestos funcionales y mayor actividad antioxidante, así como un comportamiento adecuado durante el almacenamiento, para su inclusión en programas de mejoramiento del cultivo.

## HIPÓTESIS

Los frutos de tomate del híbrido comercial presentarán mayor firmeza y vida de anaquel que los frutos de los genotipos nativos, sin embargo, los niveles de azúcares y ácidos serán menores, ya que los primeros han sufrido un proceso de selección y manejo agronómico.

Los genotipos nativos presentarán mayor contenido de compuestos funcionales y mayor actividad antioxidante que el híbrido comercial, debido a su interacción con el ambiente y poco manejo agronómico.

## OBJETIVO GENERAL

Conocer las características de crecimiento, calidad sensorial y nutracéutica de ocho genotipos nativos de tomate (*Solanum lycopersicum*) y un híbrido experimental cultivados bajo invernadero e hidroponía.

### **Objetivos específicos**

Medir la velocidad de crecimiento de los frutos de ocho genotipos nativos y un híbrido experimental de tomate, clasificados en grupos por sus características morfológicas de tamaño y forma (Cereza, ojo de venado, riñón, chino criollo y saladette) cultivados bajo condiciones de invernadero.

Determinar los parámetros de calidad (vida de anaquel, pérdida de peso, color, firmeza, sólidos solubles totales, acidez titulable, ácidos orgánicos (cítrico y málico) y azúcares totales (glucosa, fructosa y sacarosa) en frutos de tomate de los diferentes genotipos nativos y un híbrido experimental, cosechados en dos índices de cosecha.

Determinar la calidad nutracéutica (licopeno,  $\beta$ -caroteno, luteína, vitamina C, fenoles totales y actividad antioxidante) en frutos de tomate de los diferentes genotipos nativos y un híbrido experimental, cosechados en dos índices de cosecha.

## LITERATURA CITADA

Álvarez-Hernández J. C., H. Cortez-Madrigal y I. García-Ruiz (2009) Exploración y caracterización de poblaciones silvestres de jitomate (Solanaceae) en tres regiones de Michoacán, México. *Polibotánica* 28:139-159.

Anton D., D. Matt, P. Pedastsaar, I. Bender, R. Kazimierczak, M. Roasto, ... T. Püssa (2014) Three-year comparative study of polyphenol contents and antioxidant capacities in fruits of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars grown under organic and conventional conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 62:5173-5180

Ardila G., G. Fischer y H. E. B. López (2012) Caracterización del crecimiento del fruto y producción de tres híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en tiempo fisiológico bajo invernadero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 5 (1): 44-56.

Artés F. y F. Artés (2007) Tratamientos Postrecolección del Tomate Fresco. Tendencias e Innovaciones. Grupo de Postrecolección y Refrigeración. Departamento de Ingeniería de Alimentos, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, España. 23 pp.

Azzi L., C. Deluche, F. Gévaudant, N. Frangne, F. Delmas, M. Hernould y C. Chevalier (2015) Fruit growth-related genes in tomato. *Journal of Experimental Botany* 66 (4): 1075-1086.

Bai Y. y P. Lindhout (2007) Domestication and breeding of tomatoes: What have we gained and what can we gain in the future?. *Annals of Botany* 100: 1085-1094.

Batu A. (2004) Determination of acceptable firmness and colour values of tomatoes. *Journal of Food Engineering* 61 (3): 471-475.

Beckles D. (2012) Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content 364 of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology Technology* 53: 129-140.

Bhandari S. R. y J. G. Lee (2016) Ripening-dependent changes in antioxidants, color attributes, and antioxidant activity of seven tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars. *Journal of Analytical Methods in Chemistry* 2016: 1-13.

Bonilla-Barrientos O., R. Lobato-Ortiz, J. J. García-Zavala, S. Cruz-Izquierdo, D. Reyes-López, E. Hernández-Leal y A. Hernández-Bautista (2014) Diversidad agronómica y morfológica de tomates arriñonados y tipo pimiento de uso local en Puebla y Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37 (2): 129-139.

Cantwell M., S. Stoddard, M. Lestrangle y B. Aegerter (2007) Report to the California tomato commission. Tomato variety trials: postharvest evaluations for 2006. UC Davis, Davis Ca. USA. 16 pp.

Carrillo-Rodríguez J. C., J. L. Chávez-Servia, G. Rodríguez-Ortiz, R. Enríquez-del Valle e Y. Villegas-Aparicio (2013) Variación estacional de caracteres agromorfológicos en poblaciones nativas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6: 1081-1091.

Casierra-Posada F. y O. E. Aguilar-Avendaño (2008) Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. *Agronomía Colombiana* 26: 300-307.

Casierra-Posada F. y M. Constanza-Cardozo (2009) Análisis básico del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill, cv.'Quindío') cultivados a campo abierto. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 62 (1): 4815.

Causse M., M. Buret, K. Robini y P. Verschave (2003) Inheritance of nutritional and sensory quality traits in fresh market tomato and relation to consumer preferences. *Journal of Food Science* 68 (7): 2342-2350.

Causse, M., C. Friguet, C. Coiret, M. Lépiciier, B. Navez, M. Lee y S. Grandillo (2010) Consumer preferences for fresh tomato at the European scale: a common segmentation on taste and firmness. *Journal of Food Science* 75 (9): 531-541.

Ceballos-Aguirre, N., F. A. Vallejo-Cabrera, y N. Arango-Arango (2012) Evaluation of antioxidant content in introductions of cherry tomato (*Solanum* spp.). *Acta Agronómica* 61 (3): 210-218.

Charles M. T., J. Arul, D. Charlebois, E. S. Yaganza, D. Rolland, D. Roussel y M. J. Merisier (2016) Postharvest UV-C treatment of tomato fruits: Changes in simple sugars and organic acids contents during storage. *LWT-Food Science and Technology* 65:557-564.

Chávez-Servia J. L., J. C. Carrillo-Rodríguez, A. M. Vera-Guzmán, E. Rodríguez-Guzmán y R. Lobato-Ortiz (2011) Utilización actual y potencial del jitomate silvestre mexicano. Subsistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI). Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, CIIDIR-Unidad Oaxaca del Instituto Politécnico Nacional e Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Oaxaca, México. pp. 64

Crisanto-Juárez A. U., A. M. Vera-Guzmán, J. L. Chávez-Servia y J. C. Carrillo-Rodríguez (2010) Calidad de frutos de tomates silvestres (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme* Dunal) de Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33: 7-13.

De los Ángeles Martínez-Vázquez E., A. Hernández-Bautista, R. Lobato-Ortiz, J. J. García-Zavala y D. Reyes-López (2017) Exploring the breeding potential of Mexican tomato landraces. *Scientia Horticulturae* 220: 317-325.

De Jesús Dávila-Aviña J. E., J. Villa-Rodríguez, R. Cruz-Valenzuela, M. Rodríguez-Armenta, M. Espino-Díaz, J. F. Ayala-Zavala, ... y G. González-Aguilar (2011) Effect of edible coatings, storage time and maturity stage on overall quality

of tomato fruits. American Journal of Agricultural and Biological Sciences 6(1): 162-171.

Estrada-Trejo V., R. Lobato-Ortiz, G. García-de los Santos, G. Carrillo-Castañeda, F. Castillo-González, E. Contreras-Magaña, ... y A. Artola Mercadal (2014). Diversidad de poblaciones nativas de jitomate para germinación en condiciones salinas. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 5:1067-1079.

Figàs M. R., J. Prohens, M. D. Raigón, A. Fita, M. D. García-Martínez, C. Casanova y S. Soler (2015) Characterization of composition traits related to organoleptic and functional quality for the differentiation, selection and enhancement of local varieties of tomato from different cultivar groups. Food Chemistry 187:517-524.

FIRA, Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (2016) Panorama agroalimentario. Consultado en febrero de 2018 en [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200635/Panorama\\_Agroalimentario\\_Tomate\\_Rojo\\_2016.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/200635/Panorama_Agroalimentario_Tomate_Rojo_2016.pdf)

Flores-Hernández L. A., R. Lobato-Ortiz, J. J. García-Zavala, J. D. Molina-Galán, D. M. Sargerman-Jarquín y M. D. J. Velasco-Alvarado (2017) Parientes silvestres del tomate como fuente de germoplasma para el mejoramiento genético de la especie. Revista Fitotecnia Mexicana 40: 83-91.

Florido Bacallao M., L. Bao Fundora, R. M. Lara Rodríguez, M. Álvarez Gil, F. Dueñas Hurtado y T. Shagarodsky Scull (2016) Evaluación de la tolerancia a la sequía en tomate (*Solanum lycopersicum*) utilizando los índices de tolerancia. Cultivos Tropicales 37:128-135.

Giovannucci E., E. B. Rimm, Y. Liu, M. J. Stampfer y W. C. Willett (2002) A prospective study of tomato products, lycopene, and prostate cancer risk. Journal of the National Cancer Institute 94:391-398.

George B., C. Kaur, D. S. Khurdiya y H. C. Kapoor (2004) Antioxidants in tomato (*Lycopersicum esculentum*) as a function of genotype. Food Chemistry 84 (1): 45-51.

Gómez P. A. y A. F. Camelo (2002) Calidad postcosecha de tomates almacenados en atmósferas controladas. Horticultura Brasileira 20 (1): 38-43.

González-Cebrino F., M. Lozano, M. C. Ayuso, M. J. Bernalte, M. C. Vidal-Aragon y D. González-Gómez (2011) Characterization of traditional tomato varieties grown in organic conditions. Spanish Journal of Agricultural Research 9(2):444-452.

Guil-Guerrero, J. L. y M. M. Reboloso-Fuentes (2009) Nutrient composition and antioxidant activity of eight tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) varieties. Journal of Food Composition and Analysis 22 (2): 123-129.

Ilahy R., C. Hdider, M. S. Lenucci, I. Tlili y G. Dalessandro (2011) Antioxidant activity and bioactive compound changes during fruit ripening of high-lycopene tomato cultivars. Journal of Food Composition and Analysis 24(4):588-595.

Javanmardi J. y C. Kubota (2006) Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. Postharvest Biology and Technology 41 (2): 151-155.

Kader A.A. (2003) A perspective on postharvest horticulture (1978–2003). HortScience 38: 1004-1008.

Kader A. A. (2008) Flavor quality of fruits and vegetables. Journal of the Science of Food and Agriculture 88 (11): 1863-1868.

Kaur C., S. Walia, S. Nagal, S. Walia, J. Singh, B. B. Singh y S. Jaggi (2013) Functional quality and antioxidant composition of selected tomato (*Solanum lycopersicon* L.) cultivars grown in Northern India. LWT-Food Science and Technology 50 (1): 139-145.

Khadi B.M., J.V. Goud y V.B. Patil (1987) Variation in ascorbic acid and mineral content in fruits of some varieties of chili (*Capsicum annum* L.). *Plant Foods for Human Nutrition* 37: 9-15.

Kolota E. y S. K. Adamczewska (2001) Evaluation of new leek cultivars for early growing. *Vegetable Crops Research Bulletin* 54: 29-34.

Kotíková Z., J. Lachman, A. Hejtmánková y K. Hejtmánková (2011) Determination of antioxidant activity and antioxidant content in tomato varieties and evaluation of mutual interactions between antioxidants. *LWT-Food Science and Technology* 44 (8): 1703-1710.

Krzyzanowska J., A. Czubacka y W. Oleszek (2010) Chapter 7: Dietary phytochemicals and human health. *Bio-Farms for Nutraceuticals: Functional food and safety control by biosensors*. pp. 75-97.

Lenucci M. S., D. Cadinu, M. Taurino, G. Piro, y G. Dalessandro, (2006) Antioxidant composition in cherry and high-pigment tomato cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54 (7): 2606-2613.

Marín-Montes I. M., J. E. Rodríguez-Pérez, J. Sahagún-Castellanos, L. Hernández-Ibáñez, y A. M. Velasco-García (2016) Morphological and molecular variation in 55 native tomato collections from Mexico. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 22:117-131.

Martínez-Barajas B, E. (2003) Análisis de la acumulación de azúcares en pericarpios de dos genotipos silvestres de jitomate (*Lycopersicon esculentum*). *Agrociencia* 37 (4): 363-370.

Martín-Hernández S., V. M. Ordaz-Chaparro, P. Sánchez-García, B. Colinas-Leon y L. Borges-Gómez (2012) Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencia*, 46 (3): 243-254.

Pelayo Zaldivar C. (2003) Las frutas y hortalizas como alimentos funcionales. *Contactos* 47: 12-19.

Peralta I. E., S. Knapp y D. M. Spooner (2006) Nomenclature for wild and cultivated tomatoes. *Tomato Genetics Cooperative Report* 56: 6-12.

Raffo A., M. Salucci, E. Azzini, A. Bertone, G. B. Quaglia, V. Fogliano, ... G. La Malfa (2003) Nutritional characteristics of greenhouse cherry tomatoes. In VI International Symposium on Protected Cultivation in Mild Winter Climate: *Product and Process Innovation* 614:681-686.

Rick C. M. y M. Holle. (1990) Andean *Lycopersicon esculentum* var. Cerasiforme: Genetic variation and its evolutionary significance. *Economic Botany* 44: 69-78

Saeed A., K. Hayat, A. A. Khan e Iqbal S. (2007) Heat tolerance studies in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *International Journal of Agriculture and Biology* 9:649-652.

SAGARPA (2016) Exportaciones de tomate aumentan 22.7 por ciento en cinco meses. Consultado en abril de 2018 en: <https://www.gob.mx/sagarpa/prensa/exportaciones-de-tomate-aumentan-22-7-por-ciento-en-cinco-meses?idiom=es-MX>

SAGARPA (2017) Llegan exportaciones de jitomate a mil 742 MDD de enero a octubre del 2016. Consultado en febrero de 2018 en: [http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/Paginas/JAC\\_0020-14.aspx](http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/distritofederal/boletines/Paginas/JAC_0020-14.aspx)

Sánchez-Peña P., K. Oyama, J. Núñez-Farfán, J. Formoni, S. Hernández-Verdugo, J. Márquez Guzmán y J.A. Garzón-Tiznado (2006) Sources of resistance to whitefly (*Bemisia* spp.) in wild populations of *Solanum lycopersicum* var. Cerasiforme (Dunal) Spooner G.J. Anderson et R.K. Jansen in Northwestern México. *Genetic Resources and Crop Evolution* 53: 711-719.

Serrani J. C., R. Sanjuán, O. Ruiz-Rivero, M. Fos y J. L. García-Martínez (2007) Gibberellin regulation of fruit set and growth in tomato. *Plant Physiology* 145 (1): 246-257.

Srivastava A. y A. K. Handa (2005) Hormonal regulation of tomato fruit development: a molecular perspective. *Journal of Plant Growth Regulation* 24 (2): 67-82.

Stikić R., Z. Jovanović, B. Vucelić-Radović, M. Marjanović y S. Savić (2015) Tomato: a model species for fruit growth and development studies. *Botanica Serbica* 39 (2): 95-102.

Urrieta-Velázquez J. A., M. D. L. N., Rodríguez-Mendoza, P. Ramírez-Vallejo, G. A. Baca-Castillo, L. D. M. Ruiz-Posada, y J. A. Cueto-Wong (2012) Variables de producción y calidad de tres selecciones de jitomate de costilla (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Chapingo. Serie horticultura* 18 (3): 371-381.

Vásquez-Ortiz R., J. C. Carrillo-Rodríguez, y P. Ramírez-Vallejo (2010) Evaluación morfo-agronómica de una muestra del jitomate nativo del Centro y Sureste de México. *Naturaleza y Desarrollo* 8 (2): 49-64.

Valle M. E. y G. Rodríguez (2011) Evaluación de vitamina C por HPLC en el desarrollo postcosecha del tomate (*Solanum lycopersicum* var. Dominator). *Revista ECIPERÚ*.

Vera-Guzmán A. M., J. L. Chávez-Servia y J. C. Carrillo-Rodríguez (2011) Variación en calidad de frutos de poblaciones de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) tipo riñón. *Journal of the Interamerican Society for Tropical Horticulture* 55: 82-85.

Vogel J. T., D. M. Tiemaz, C. A. Sims, A. Z. Odabasi, D. G. Clark y H. J. Klee (2010) Carotenoid content impacts flavor acceptability in tomato (*Solanum lycopersicum*). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90 (13): 2233-2240.

# **CAPÍTULO I. DESARROLLO Y CALIDAD POSTCOSECHA DE GENOTIPOS NATIVOS DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)**

## **1.1 RESUMEN**

El fruto de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas más importantes en el mundo con un consumo *per cápita* de 20.2 kg. México considerado como centro de domesticación de esta especie tiene una amplia diversidad morfológica de frutos como el tipo riñón, cereza, ojo de venado (OV), chino criollo (CC), pera, bola, saladette, así como variabilidad genética (composición, resistencia a plagas, enfermedades o adaptación a condiciones extremas de cultivo, entre otras). Estos materiales pueden ser usados en programas de mejoramiento genético para el desarrollo de variedades con características que se han perdido en las variedades comerciales. En este estudio se evaluaron ocho genotipos de tomate nativos provenientes de Veracruz y Puebla, un híbrido experimental (CP-HER) y un híbrido comercial (CID-HC), clasificados en cinco grupos (cereza, OV, CC, riñón y saladette). Los parámetros evaluados fueron el crecimiento de frutos, pérdida de peso (PP), color, firmeza, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), ácidos orgánicos y azúcares. Se realizó un seguimiento del crecimiento de los frutos desde el amarre hasta el estado de madurez de consumo. Los frutos fueron cosechados en estado 1 (rompiente) y 4 (rojo) y se evaluaron a los 0, 7 d y en algunos casos a los 14 d de almacenamiento. Los frutos más precoces en alcanzar su máximo tamaño y madurez de consumo fueron los de tipo cereza LOR88 a los 59 días después de la floración. Los frutos del genotipo CC LOR102 inicialmente presentaron mayor firmeza, pero con un descenso significativo durante el almacenamiento, además de una baja acidez (0.37-0.42 %), lo que lo hizo susceptible al ataque de hongos al igual que los frutos tipo riñón. Se encontraron genotipos con potencial para ser usados como fuente de germoplasma en programas de mejoramiento; los genotipos tipo riñón LOR77 y LOR119 sobresalieron en índice de dulzura, el genotipo tipo cereza LOR88 en AT, por el alto contenido de ácido cítrico. Los de

mayor vida de anaquel fueron los de tipo cereza, mientras aquellos con mayor firmeza fueron los frutos CC LOR102 y riñón LOR82.

## 1.2 INTRODUCCIÓN

El desarrollo de los frutos comienza a partir de una fecundación exitosa, con el crecimiento (división celular y expansión celular) del fruto (cuajado) y culmina con el proceso de maduración, fase caracterizada por un lento crecimiento e intensos cambios metabólicos. La fase del crecimiento es la más larga del desarrollo ya que varía de 5 a 8 semanas dependiendo el genotipo (Srivastava y Handa, 2005; Azzi *et al.*, 2015; Stikić *et al.*, 2015). Conocer el crecimiento y desarrollo de las hortalizas permite la aplicación racional de las labores culturales en el momento adecuado, para garantizar una respuesta óptima del vegetal de acuerdo con nuestras necesidades y exigencias (Casierra-Posada y Cardozo, 2009).

La producción comercial de tomate se basa principalmente en variedades modernas, que presentan alto rendimiento, resistencia a estrés biótico y abiótico, uniformidad, firmeza y vida útil prolongada (Beckles, 2012). Sin embargo, estas características no siempre coinciden con los deseos de los consumidores, quienes a menudo se quejan de la reducción en su calidad sensorial (Causse *et al.*, 2010; Figàs *et al.*, 2015). En la actualidad se demandan tomates que aparte de cumplir con atributos como tamaño, forma color y textura, también tengan buen sabor (gusto y aroma) (Kader, 2003; Cantwell *et al.*, 2007; Causse *et al.*, 2010).

Aunque el sabor característico del tomate es el resultado de la compleja interacción de distintos metabolitos, incluyendo 400 compuestos volátiles, la cantidad y los tipos de azúcares y ácidos son determinantes no sólo para el sabor sino para la calidad general de los frutos. (Causse *et al.*, 2010; Vogel *et al.*, 2010; Beckles, 2012; Charles *et al.*, 2016). La relación que existe entre el contenido de

SST y la AT de los frutos provee de más información que tener por separado a dichos parámetros de SST y AT (Gómez y Camelo, 2002; Ilić *et al.*, 2015). Los principales azúcares en los frutos de tomate son glucosa y fructosa. Mientras que, en contenido de ácidos los más abundantes en tomate son el ácido cítrico como el principal y en menor proporción otros ácidos como el ácido málico (Martínez-Barajas, 2003; Kader, 2008; Martín-Hernández *et al.*, 2012).

Por otro lado, la firmeza y la vida de anaquel son atributos de primer orden en el tomate al estudiar las preferencias de los operadores comerciales (exportadores, importadores, distribuidores, mayoristas y minoristas), así como de los consumidores (Artés y Artés, 2007; Casierra-Posada y Aguilar-Avenidaño, 2008), por lo que también son usados como indicadores de calidad del fruto (Batu, 2004).

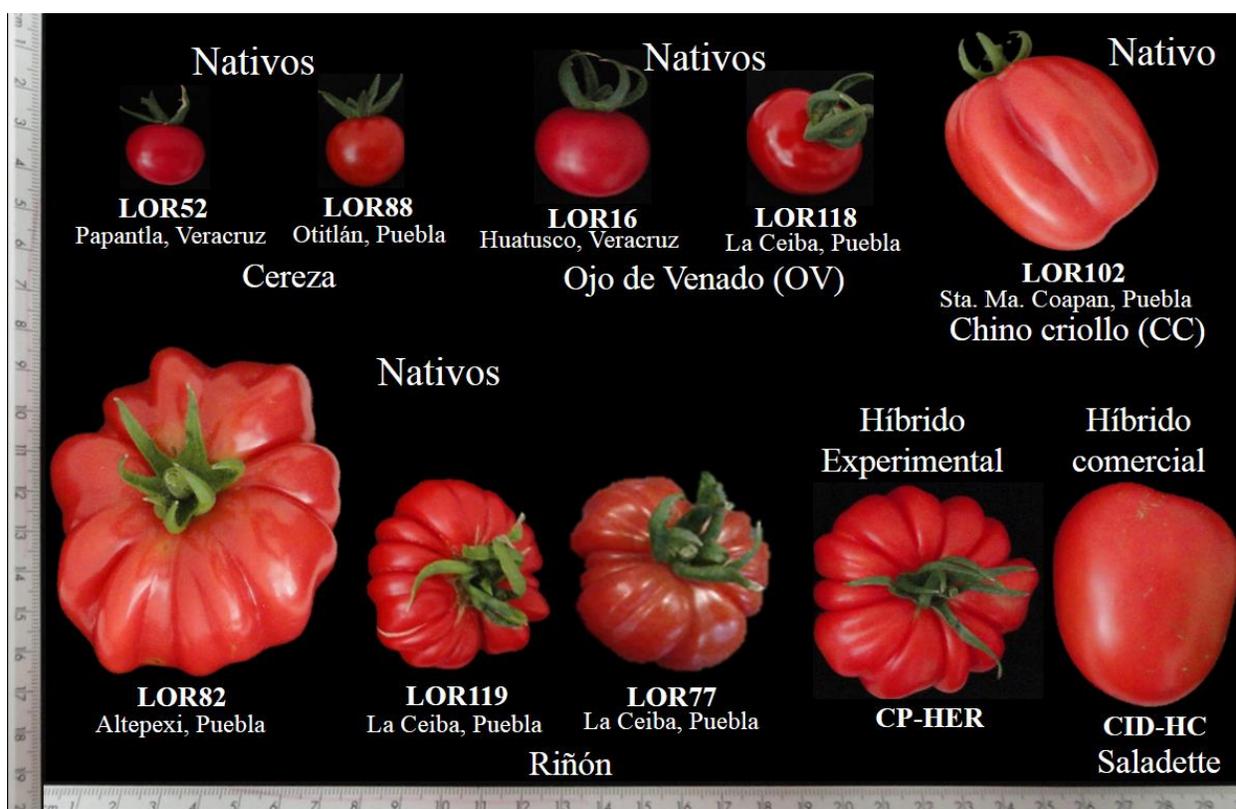
Estudios reportan que entre las variedades de *S. lycopersicum* existen diferencias significativas con respecto a sus caracteres fenológicos y morfológicos. Estos caracteres pueden conferir resistencia o susceptibilidad a la conservación de la calidad de los frutos. Tal es el caso de las poblaciones de frutos tipo costilla o riñón y tomatillo que presentaron amplia variabilidad (Carrillo-Rodríguez *et al.*, 2013). George *et al.* (2004) y Juárez-López *et al.* (2009) encontraron genotipos nativos que presentan mayor acidez (0.50-1.01 %) que los híbridos (0.32-0.72 %). En siete cultivares del sur de España se encontraron intervalos de 8.5 a 10 mg g<sup>-1</sup> de glucosa y de 9.6 a 12.4 mg g<sup>-1</sup> para fructosa, además de un contenido de 322 a 389 mg 100 g<sup>-1</sup> de ácido cítrico (Hernández-Suárez *et al.*, 2008). Estos estudios indican que los genotipos silvestres son una fuente importante de germoplasma para el mejoramiento de cultivos.

Por lo anterior, se estudiará el desarrollo y la calidad postcosecha de frutos de genotipos nativos, un híbrido experimental y un híbrido comercial de tomate, que resulten de interés para incrementar la variabilidad genética de los frutos comerciales de esta especie.

## 1.3 MATERIALES Y MÉTODOS

### 1.3.1 Material vegetal

Se utilizaron ocho genotipos nativos de tomate (LOR52, LOR88, LOR16, LOR118, LOR102, LOR82, LOR119 y LOR77) provenientes de los estados de Puebla y Veracruz (Bonilla-Barrientos *et al.*, 2014), un híbrido experimental (CP-HER) y un híbrido comercial (CID-HC) como testigo, clasificados en cinco grupos por las características morfológicas de los frutos (Figura 1). Los grupos son cereza, ojo de venado (OV), chino criollo (CC), riñón y saladette. Las semillas fueron proporcionadas por el Programa de Conservación y Mejoramiento de los Recursos Genéticos del Jitomate del Colegio de Postgraduados.



**Figura 1. Origen y tipo de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) de genotipos nativos, híbrido experimental e híbrido comercial.**

### 1.3.2 Diseño experimental y análisis estadístico

Para la variable de crecimiento de los frutos se utilizó un diseño experimental en bloques con un arreglo completamente al azar, 10 tratamientos (8 genotipos nativos, 1 híbrido experimental y 1 híbrido comercial), con 3 repeticiones (3 frutos por repetición). Para comparar el comportamiento del crecimiento transversal y polar de frutos, se ajustó el modelo logístico ( $Y = a/(1+be^{-cX})$ ) para cada genotipo, donde: Y = variable respuesta (crecimiento transversal y polar), X = tiempo, a = máximo crecimiento de frutos, b = tasa de crecimiento inicial y c = tasa de crecimiento, mediante el programa de curveExpert140 (Hyams, 1698).

Para el parámetro de color se utilizó un diseño factorial 10 x 4 con un arreglo completamente al azar con tres repeticiones, que incluyó 10 materiales genéticos y 4 estados de madurez, con tres repeticiones (un fruto por repetición), que incluyó 10 materiales genéticos y 4 estados de madurez. El modelo estadístico fue:  $Y_{ijk} = \mu + g_i + m_j + (gm)_{ij} + e_{ijk}$  donde  $Y_{ijk}$  es la variable respuesta,  $\mu$  es la media de la población,  $g_i$  es el efecto del i-ésimo genotipo,  $m_j$  es el efecto del j-ésimo estado de madurez,  $f_k$  es el efecto de la k-ésima fecha,  $(gm)_{ij}$ , es la interacción doble y el  $e_{ijk}$  es el efecto del error.

Para las variables de PP, firmeza, SST, AT, IM, azúcares y ácidos orgánicos se utilizó un diseño factorial 10 x 2 x 3 con un arreglo completamente al azar con tres repeticiones, que incluyó 10 materiales genéticos, 2 estados de madurez: rompiente (estado 1) y rojo (estado 4) y 3 periodos de almacenamiento (0, 7 y en algunos casos 14 días). Para PP y firmeza las repeticiones consistieron de 2 frutos por repetición, para el resto de las variables (SST, AT, IM, azúcares y ácidos orgánicos) consistió de 3, 10 y 25 frutos para los genotipos grandes (riñón, CC y saladette), medianos (OV) y pequeños (cereza), respectivamente. El modelo estadístico fue:  $Y_{ijk} = \mu + g_i + m_j + f_k + (gm)_{ij} + (gf)_{ik} + (mf)_{jk} + (gmf)_{ijk} + e_{ijk}$  donde  $Y_{ijk}$  es la variable respuesta,  $\mu$  es la media de la población,  $g_i$  es el efecto del i-ésimo genotipo,  $m_j$  es el efecto del j-ésimo estado de madurez,  $f_k$  es el efecto de

la  $k$ -ésima fecha,  $(gm)_{ij}$ ,  $(gf)_{ik}$ ,  $(mf)_{jk}$  y  $(gmf)_{ijk}$  son las interacciones dobles y triples y el  $e_{ijk}$  es el efecto del error.

Con los datos obtenidos de las variables respuesta se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y cuando hubo efectos en sus interacciones, se realizó la prueba de Tukey con un nivel de significancia de  $\alpha = 0.05$ , mediante el paquete estadístico R 3.5.0 (2018).

Las variables que no cumplían con el supuesto de distribución normal se transformaron con Raíz cuadrada (IM y ácido cítrico) y Log (firmeza). Se calculó la correlación entre las variables (SST, AT, IM, ácidos orgánicos, azúcares y TSI), mediante el coeficiente de correlación de Pearson, utilizando el paquete estadístico de SAS v. 9.0 (Institute, Cary, NC, USA).

### **1.3.3 Siembra de los materiales**

La siembra de los materiales se realizó el 1 de abril de 2016 (ciclo primavera-verano), en charolas de unicel con sustrato de peat moss y riego con agua normal (de la llave). Después de presentar las primeras hojas, el riego manual fue con solución nutritiva Steiner (Steiner, 1966) al 25% hasta su trasplante. El trasplante se realizó a los 30 días de la siembra, en bolsas negras de polietileno con arena volcánica (tezontle rojo) como sustrato y se distribuyeron en un invernadero en Montecillo, Texcoco, Edo. de México ( $19^{\circ} 30' N$  y  $98^{\circ} 53' O$ ) a una altitud de 2250 m. Se sembraron 5 plantas por  $m^2$ . El riego se hizo manualmente dos veces al día hasta la floración, con solución nutritiva Steiner (Steiner, 1966) al 50%. A partir del inicio de la floración, 30 días después del trasplante y hasta la fructificación, el riego se realizó manualmente dos veces por día con solución Steiner al 100%. Las plantas fueron tutoradas y los brotes laterales fueron removidos cada que aparecían, de tal forma que las plantas se condujeran a un solo tallo.

Las condiciones ambientales promedio durante el cultivo, entre los meses de abril y agosto fueron las siguientes: temperatura  $17.8 \pm 4.3$  °C y HR  $79.7 \pm 12.9$

%). Como medida preventiva se realizó una aplicación de diferentes plaguicidas: Ridomil Gold® (6 mL L<sup>-1</sup>), Amistar® (1.5 g L<sup>-1</sup>), Ampligo® (2 mL L<sup>-1</sup>) y Beleaf® (1 g L<sup>-1</sup>) durante el desarrollo de los frutos.

#### **1.3.4 Cosecha de frutos**

Los frutos se cosecharon a partir de los 59 d de la floración (agosto de 2016), en dos estados de maduración: rompiente (estado 1) y rojo (estado 4), tomando como criterio de selección, el color externo de los frutos. La cosecha se realizó durante la mañana, seleccionando los frutos a partir del tercer racimo, se escogieron frutos libres de daños mecánicos, defectos físicos, plagas y enfermedades. Los frutos se cortaron manualmente para evitar daños. Posteriormente, se transportaron al laboratorio para su análisis.

#### **1.3.5 Preparación del material**

Los frutos de tomate de los dos estados de madurez (1 y 4) y de cada genotipo (nativos e híbridos) se lavaron superficialmente con agua y se secaron. Posteriormente se separaron en tres grupos que se analizaron a los 0, 7 y 14 días de almacenamiento. Las condiciones de almacenamiento fueron: temperatura  $23.5 \pm 0.04$  °C y HR  $56.39 \pm 0.58$  %. Inmediatamente de que los frutos cumplieran el tiempo de almacenamiento se determinaron los parámetros de firmeza, SST y acidez. Para las evaluaciones de contenido de azúcares (glucosa y fructosa) y ácidos orgánicos (cítrico y málico), los frutos se molieron y homogeneizaron con un equipo (Turmix®) y congelaron a -70°C en ultracongelador (Revco®) hasta su análisis.

#### **1.3.6 Variables evaluadas**

##### **1.3.6.1 Crecimiento y madurez de los frutos**

Durante la floración se marcaron 15 flores recién abiertas de cada uno de los genotipos. Después del cuajado (10 días después de la floración) se midió semanalmente el diámetro polar y transversal de nueve frutos por genotipo,

hasta alcanzar la madurez de consumo. Las mediciones se realizaron con ayuda de un vernier (Truper®).

#### 1.3.6.2 Parámetros de calidad

##### Color

Mediante un colorímetro (3nh NR20XE) se tomaron los parámetros de L\* (luminosidad), C (cromaticidad) y h (matiz) en frutos de diferente estado de madurez (tres zonas de cada fruto).

##### Pérdida de peso (PP)

Se tomó el peso inicial (al cosechar) de cada uno de los frutos. Se registró el peso cada tercer día durante 14 días de almacenamiento a  $23.5 \pm 0.04$  °C y  $56.39 \pm 0.58$  % HR. Se utilizó una balanza digital (Esnova SE-2000). La PP se reportó como porcentaje de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$\% \text{ PP} = (1 - P_n / P_i) 100$$

Donde:

% PP = porcentaje de pérdida de peso

$P_n$  = peso de los frutos a los n días de almacenamiento

$P_i$  = peso inicial de los frutos

##### Firmeza

Se determinó aplicando una presión en el fruto con un puntal cónico de 7 mm de diámetro de un texturómetro (WAGNER ForceFive Modelo FDV-30). Se expresó la fuerza en Newtons (N) para que el punzón penetre en el fruto.

### Sólidos Solubles Totales (SST)

Se extrajeron unas gotas de jugo de los frutos y con un refractómetro (Atago Palette PR-32) se midió el contenido de SST. Las lecturas se expresaron en %.

### Acidez titulable (AT)

Se tomaron 5 g de jugo de los frutos, se colocaron en un matraz Erlenmeyer y se agregaron 3 gotas de fenolftaleína, en seguida se tituló con NaOH 0.1 N. Posteriormente, se obtuvo el porcentaje de acidez, aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ ácido cítrico} = (\text{vol NaOH})(N \text{ NaOH}) (\text{meq. de ác. cítrico}) (100) / \text{g de jugo.}$$

Donde:

N = normalidad de NaOH

vol = volumen total de jugo

### Índice de madurez (IM)

Se obtuvo calculando el cociente entre SST y AT según Ilić *et al.*, (2015).

### Azúcares (glucosa, fructosa)

Para la determinación del contenido de azúcares se realizó una extracción previa. Se tomaron 5 g de pulpa de tomate, se agregaron 60 mL de etanol al 80 % y se puso a ebullición hasta concentrar a 15 mL. Se tomó un mililitro del concentrado y se pasó por una columna Chromabond C18 (Macherey-Nagel) previamente acondicionada. La muestra recuperada se filtró e inyectó en un equipo de cromatografía de líquidos HPLC (PerkinElmer 200), equipado con un detector de índice de refracción (IR), columna Pinnacle II Amino (150 x 4.6mm, 5µm). La fase móvil compuesta de acetonitrilo/agua (80:20 v/v), con un flujo de 1mL/0.5min a 35°C. La identificación y cuantificación de azúcares se hizo con estándares

comerciales (Sigma-Aldrich, Pennsylvania, USA) y los resultados fueron expresados en mg g<sup>-1</sup>.

#### Índice de dulzura (TSI)

Teniendo el contenido de azúcares se obtuvo el índice de dulzura (TSI) con la fórmula  $TSI = (1.00 \times [\text{sacarosa}]) + (0.76 \times [\text{glucosa}]) + (1.50 \times [\text{fructosa}])$  según Beckles (2012).

#### Ácidos orgánicos (cítrico y málico)

Se tomaron 5 g de pulpa de tomate molido, se homogeneizaron y centrifugaron a 2599 g a 5 °C por 5 min en oscuridad, se recuperó el sobrenadante y se filtró con un acródisco (0.45 µm), posteriormente se inyectó una alícuota de 20 µL a un cromatógrafo de líquidos de alta resolución HPLC. El análisis por HPLC se realizó por el método de Nour *et al.* (2010), con modificaciones mínimas. Se utilizó una fase móvil de buffer de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (50 mM) pH 2.8 a una velocidad de flujo de 0.7 mL/min. El equipo utilizado fue un cromatógrafo de líquidos de la marca Agilent Technology 1260 equipado con una columna Hypersil GOLD aQ (250 mm x 4.6 mm, 5 µm) y con un detector de arreglo de diodos. La detección fue llevada a cabo a una longitud de onda de 210 nm. Para la identificación y cuantificación de ácidos orgánicos se inyectaron soluciones estándar de ácidos cítrico y málico (Sigma-Aldrich, Pennsylvania, USA) y los resultados fueron expresados en mg 100 g<sup>-1</sup> pf.

## 1.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

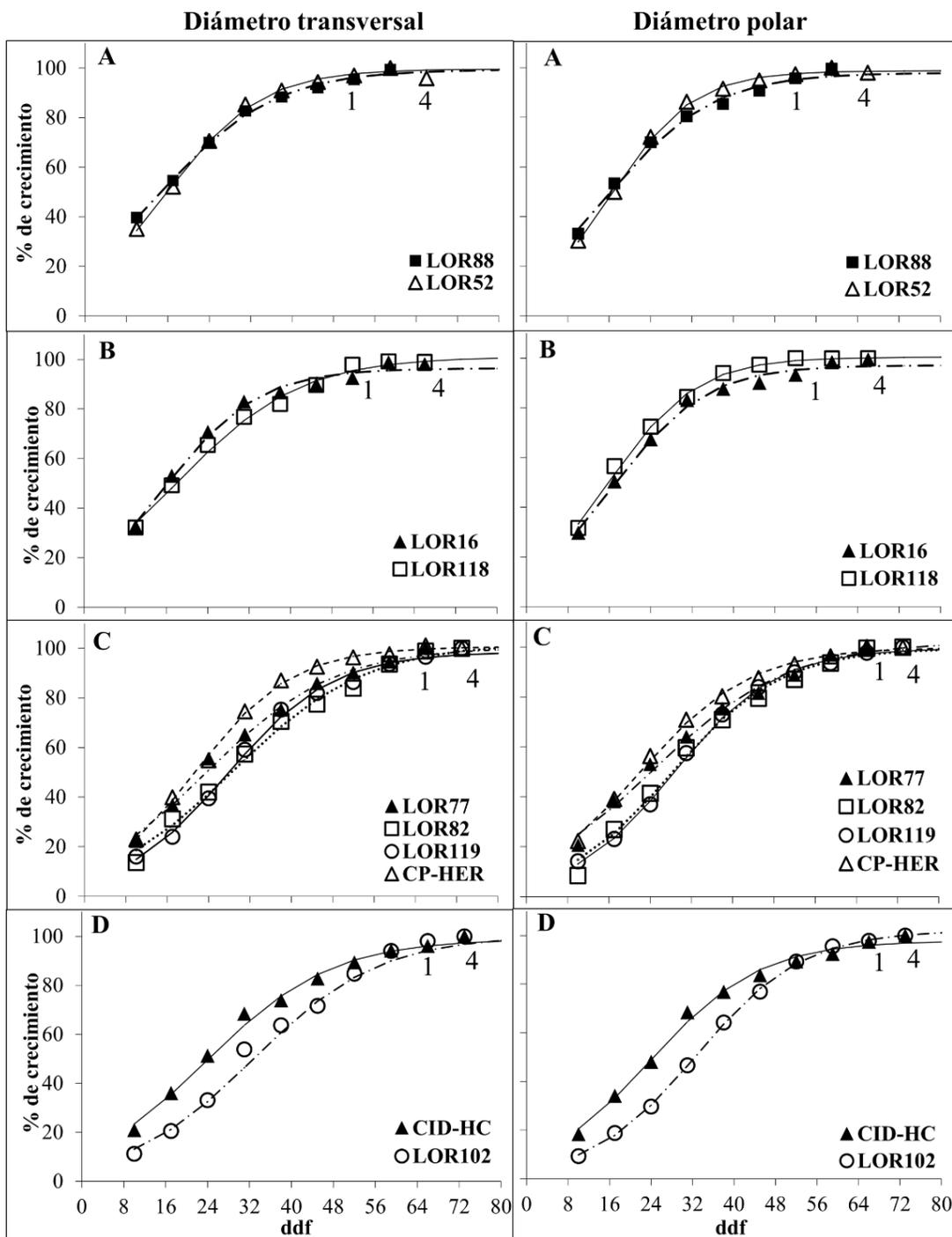
### 1.4.1 Crecimiento y madurez de los frutos

El desarrollo de los frutos de tomate desde el amarre hasta la etapa de madurez fisiológica se ubicó entre los 52 y 66 d. Los frutos tipo cereza alcanzaron un peso promedio de 3.80 g por fruto, seguidos por los frutos OV con 11.25, los del tipo riñón con 68.7, saladette CID-HC con 105 y el chino criollo con 129 g por fruto (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Peso promedio y desviación estándar de los tipos de frutos de tomate.**

<b>Genotipo</b>	<b>Peso (g)</b>
Cereza	3.8 ± 0.82
Ojo de venado (OV)	11.25 ± 1.22
Riñón	68.69 ± 26.76
Chino criollo (CC)	129.17 ± 28.29
Saladette (CID-HC)	105.29 ± 19.07

Los frutos que alcanzaron su tamaño final en menos tiempo fueron los del tipo cereza LOR88 a los 59 d y LOR52 a los 66 días después de la floración (ddf). Los frutos OV LOR16 y LOR118, así como los frutos tipo riñón LOR77 también alcanzaron su máximo crecimiento a los 66 días, seguidos por frutos tipo riñón (LOR82, LOR119 y CP-HER), CC (LOR102) y el saladette (CID-HC) que alcanzaron su máximo tamaño a los 73 d (Figura 2).



**Figura 2. Crecimiento acumulado de los frutos de tomate cultivados bajo condiciones de invernadero. El crecimiento se determinó midiendo el diámetro polar y transversal a distintos días después de la floración (ddf), 1 y 4 Indican el estado de madurez inicial (rompiente) y final (rojo) del fruto. Genotipos tipo cereza (A), OV (B), riñón (C), CC y saladette (D).**

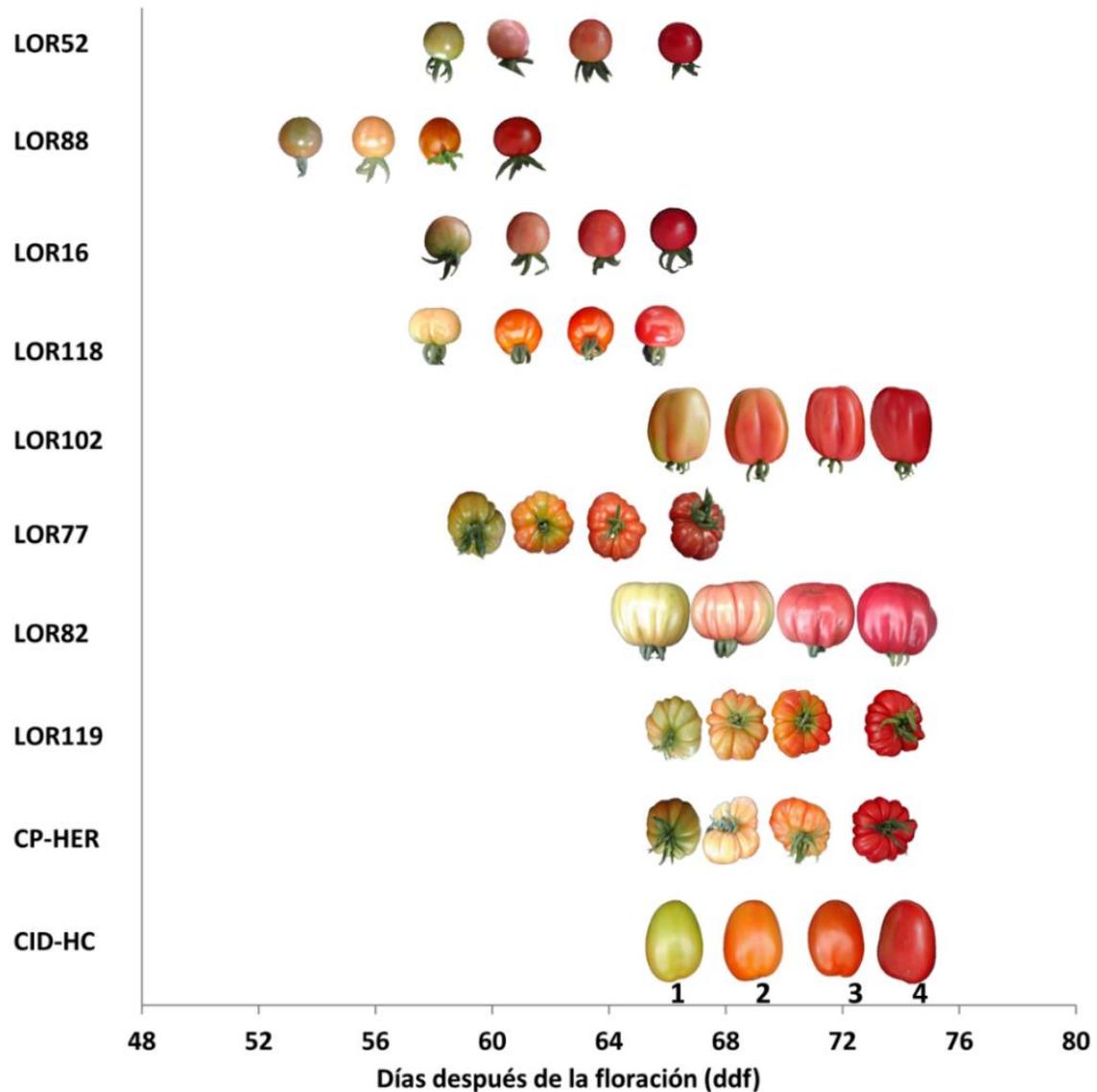
Se ajustó un modelo logístico (Cuadro 2) para el crecimiento de los frutos. Las curvas tienen una forma sigmoïdal, tal y como lo reportan Casierra y Cardozo (2009). Como se mencionó anteriormente, la velocidad de crecimiento fue diferencial entre genotipos, ya que cultivares de frutos de menor tamaño requieren menos energía y materia orgánica para su crecimiento que los de mayor tamaño y con más productividad. Este comportamiento coincide con el reportado por Carrillo-Rodríguez *et al.* (2013), para colectas de frutos pequeños (tipo cereza) que maduraron 10 días antes (62.1 ddf) que los frutos tipo riñón (72.2 ddf) y saladette (70.5 ddf).

**Cuadro 2. Ecuaciones del modelo logístico para el diámetro polar y transversal durante el crecimiento de los frutos de tomate, cultivados bajo las mismas condiciones de invernadero.**

Genotipos	Transversal	R	Polar	R
<b>LOR52</b>	$y=97.943/(1+5.84*e^{(-0.113x)})$	0.998	$y=98.493/(1+8.27*e^{(-0.128x)})$	0.999
<b>LOR88</b>	$y=99.404/(1+3.76*e^{(-0.091x)})$	0.998	$y=97.917/(1+4.83*e^{(-0.099x)})$	0.995
<b>LOR16</b>	$y=96.514/(1+5.51*e^{(-0.110x)})$	0.995	$y=97.128/(1+6.57*e^{(-0.112x)})$	0.996
<b>LOR118</b>	$y=100.642/(1+4.60*e^{(-0.084x)})$	0.996	$y=99.909/(1+6.57*e^{(-0.119x)})$	0.998
<b>LOR102</b>	$y=100.297/(1+15.26*e^{(-0.083x)})$	0.996	$y=102.192/(1+24.78*e^{(-0.097x)})$	0.999
<b>LOR77</b>	$y=100.345/(1+6.96*e^{(-0.082x)})$	0.996	$y=102.024/(1+6.69*e^{(-0.077x)})$	0.995
<b>LOR82</b>	$y=101.862/(1+9.82*e^{(-0.079x)})$	0.995	$y=99.520/(1+14.73*e^{(-0.095x)})$	0.995
<b>LOR119</b>	$y=97.837/(1+14.91*e^{(-0.097x)})$	0.997	$y=99.512/(1+18.04*e^{(-0.101x)})$	0.999
<b>CP-HER</b>	$y=99.503/(1+9.74*e^{(-0.105x)})$	0.999	$y=99.755/(1+7.75*e^{(-0.093x)})$	0.998
<b>CID-HC</b>	$y=98.870/(1+7.47*e^{(-0.084x)})$	0.996	$y=97.840/(1+9.71*e^{(-0.094x)})$	0.996

Durante el proceso de maduración de consumo de los frutos de tomate ocurre la degradación de clorofila y la biosíntesis de carotenoides, ambos procesos son responsables de la pigmentación característica de los frutos (Carrillo y Yahia, 2014). El cambio de color de los frutos en la planta, desde el estado 1 (rompiente) hasta el 4 (rojo) se logró en aproximadamente 8 días, en todos los genotipos estudiados. De los genotipos pequeños, los frutos tipo cereza LOR88 alcanzaron el estado 1 a los 52 días y el estado 4 a los 59 días, mientras que los frutos tipo

cereza LOR52 y los frutos OV LOR16 y LOR118 alcanzaron el estado 1 a los 59 días y el estado 4 a los 66 días. En los frutos tipo riñón LOR77 alcanzaron el estado 1 a los 59 días y el estado 4 a los 67 días, mientras que el resto de los frutos tipo riñón (LOR82, LOR119 y CP-HER) junto con los frutos chino criollo LOR102 y el híbrido comercial CID-HC alcanzaron el estado 1 a los 66 días y el estado 4 a los 73 días (Figura 3).



**Figura 3. Cuatro estados de madurez de los genotipos nativos e híbridos (experimental y comercial). Estados de madurez del fruto 1=rompiente, 2=naranja, 3=rojo claro y 4=rojo.**

### 1.4.2 Parámetros de calidad

#### Color

Con respecto a los parámetros de color, se observa que en general la luminosidad (L) decreció durante la maduración del fruto y los valores de luminosidad van de 52.0 a 65.6 en el estado 1 hasta 34.5 a 46.3 en el estado 4 para los distintos genotipos. Estos resultados reflejan un oscurecimiento de los tomates por la síntesis de carotenoides, como ha sido reportado por Arias *et al.* (2000). Por otro lado, en los valores de croma se observó un aumento durante la maduración, en el estado 1 los valores de croma fueron de 18.2 a 34.7, mientras que en estado 4 fueron de 29.5 a 42.0. Por último, los valores de matiz disminuyeron durante la maduración, presentando tonalidades verde-amarillentas en el estado 1 a rojas en el estado 4. En estado 1 el matiz varió de 57 a 89.6, mientras que en estado 4 tuvo valores de 22.0 a 37.4 (Cuadro 3).

Los frutos de los genotipos tipo cereza LOR52, OV LOR16, CC LOR102 y riñón LOR82 maduraron con una tonalidad rosa, mientras que el resto de los frutos adquirió un color rojo en el estado 4. Sin embargo, en los parámetros de color no se observaron diferencias significativas entre ambos grupos de frutos. De acuerdo con Brand *et al.* (2006) las diferencias en la tonalidad de color de los frutos de tomate que percibe el ojo humano pueden atribuirse a la combinación de la pigmentación de la cutícula y la pulpa, ya que los frutos con coloración rosa presentan una cutícula transparente, mientras que la cutícula de los frutos de color rojo es amarilla por la acumulación de carotenoides. Otros autores sugieren que los flavonoides, como la naringenina también pueden contribuir a la pigmentación de la cutícula (Ballester *et al.*, 2010).

**Cuadro 3. Parámetros de color de los frutos en cuatro estados de madurez de genotipos nativos e híbridos.**

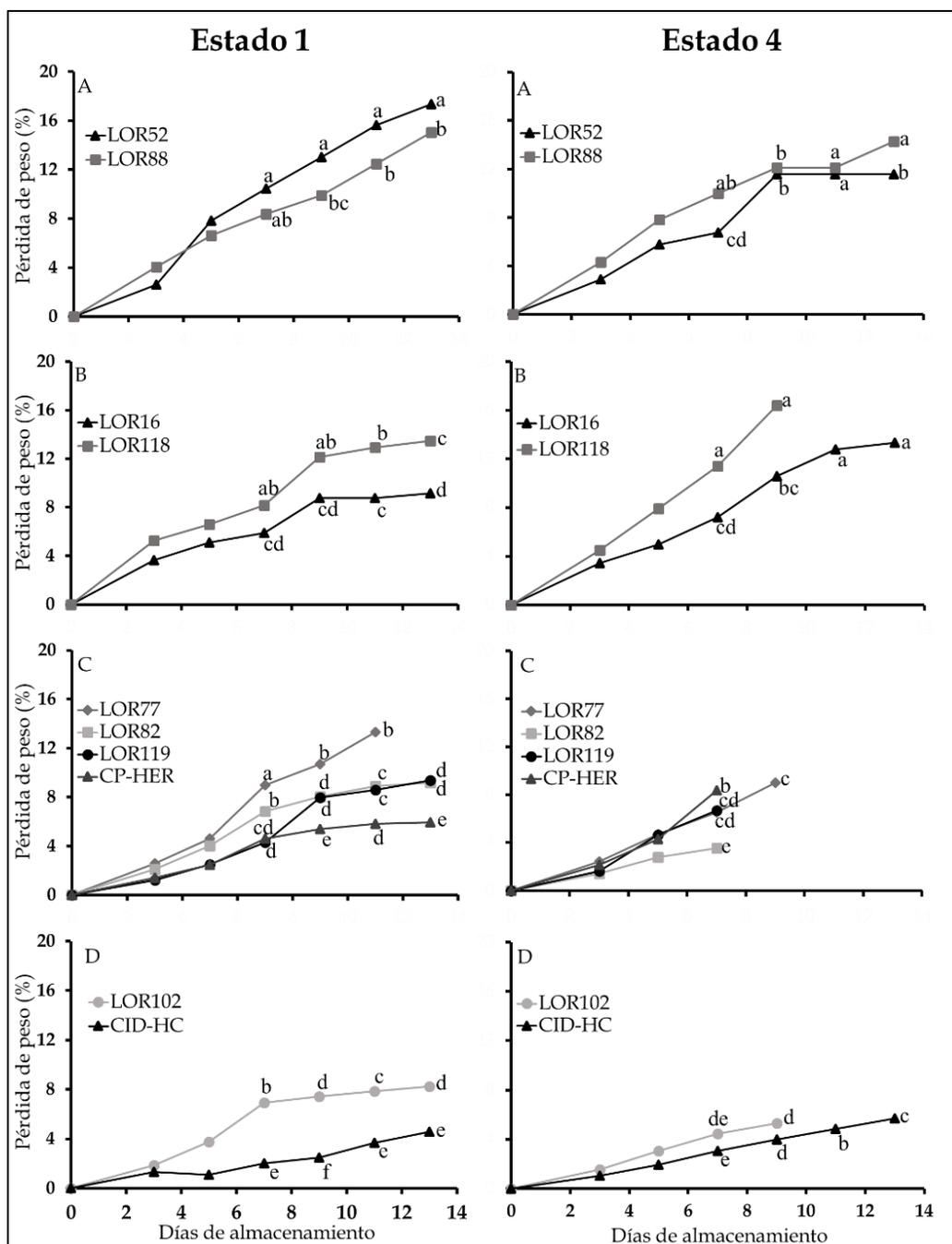
EM	Cereza		Ojo de Venado		CC	Riñón				Saladette		CV(%)	DMS
	LOR52	LOR88	LOR16	LOR118	LOR102	LOR77	LOR82	LOR119	CP-HER	CID-HC			
<b>Luminosidad</b>													
1	61.1 a	62.9 a	56.0 a	65.6 a	52.0 a	57.6 a	57.1 a	61.1 a	62.6 a	53.7 a	4.97		
2	54.4 a	57.5 a	58.5 a	55.5 b	47.3 ab	43.7 bc	52.1 a	54.8 a	51.9 b	48.8 ab	4.65		
3	60.4 a	50.5 b	53.0 a	51.4 b	42.8 b	47.8 b	40.9 b	46.8 b	47.2 b	48.1 ab	3.36		
4	46.3 b	44.1 b	44.3 b	44.2 c	34.5 c	39.7 c	37.2 b	40.8 b	35.7 c	42.2 b	6.82	6.8	
<b>Croma</b>													
1	18.2 b	23.1 b	19.8 b	31.0 b	30.0 b	28.5 c	23.4 b	29.7 c	34.7 b	32.3 bc	9.86		
2	28.7 a	30.4 a	25.6 ab	38.5 a	32.2 ab	32.8 bc	23.2 b	38.9 ab	35.6 ab	30.7 c	5.75		
3	25.6 a	34.0 a	30.9 a	35.0 ab	33.7 ab	38.7 ab	33.5 a	34.3 bc	38.3 ab	40.7 a	7.70		
4	31.2 a	30.2 a	29.5 a	33.5 ab	37.7 a	40.7 a	35.6 a	41.8 a	42.0 a	38.0 ab	5.98	6.6	
<b>Matiz</b>													
1	82.0 a	78.3 a	62.1 a	57.0 a	74.0 a	70.0 a	73.8 a	74.4 a	89.6 a	83.8 a	7.73		
2	57.7 b	57.0 b	43.7 b	45.5 b	32.2 b	38.9 b	42.2 b	56.5 b	60.4 b	69.6 b	8.31		
3	43.3 c	39.9 c	36.6 b	34.8 c	28.6 b	38.7 b	28.0 c	43.6 c	38.8 c	52.3 c	7.76		
4	22.6 d	30.6 c	22.0 c	29.4 c	24.9 b	34.8 b	22.9 c	29.4 d	36.8 c	37.4 d	7.26	10.7	

Valores con diferente letra en cada columna para cada parámetro, son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ) entre estados de madurez (EM): 1, 2, 3 y 4. CC=chino criollo, CV=Coeficiente de variación y DMS=Diferencia mínima significativa.

## Pérdida de peso (PP)

La PP tiene un gran impacto en la calidad del fruto. En frutos de tomate la causa principal es la pérdida de agua a través del pedúnculo (Bouzo y Gariglio, 2016). Juárez-López *et al.* (2009) reportó que PP mayores al 7 % provocan una apariencia indeseable del fruto. En la figura 4 se presenta la PP de frutos cosechados en estado 1 y estado 4 durante su almacenamiento a  $23.5 \pm 0.04$  °C y  $56.39 \pm 0.58$  % humedad. Los genotipos que mostraron mayor PP durante el almacenamiento fueron los frutos tipo cereza LOR52 y LOR88 cosechados en estado 1, que después de 5 días perdieron más del 7 % de su peso. En general, los frutos cosechados en estado 4 perdieron menos peso que los del estado 1, debido a que los frutos más jóvenes tienen una actividad metabólica mayor que los frutos maduros (Casierra y Cardozo, 2008).

De los frutos cosechados en estado 1, los que presentaron valores de PP menores o cercanos a 7% a los 13 días de almacenamiento fueron el tipo CC LOR102, riñón CP-HER y el CID-HC, mientras que los frutos cosechados en el estado 4 los que presentaron PP menores a 7% fueron el tipo riñón LOR82, el CC LOR102 y el CID-HC. De los frutos cosechados en estado 1, LOR77 sólo alcanzó los 11 días de almacenamiento ya que presentó alta incidencia de hongos. De los frutos cosechados en estado 4, sólo alcanzaron los 9 días de almacenamiento los OV LOR118, riñón LOR77 y CC LOR102, mientras que los de tipo riñón LOR82 y CP-HER sólo alcanzaron 7 días de almacenamiento, debido a su alta incidencia de hongos. Estos resultados indican que, aunque los frutos tipo riñón LOR82, los CC LOR102 y el CP-HER presentaron valores bajos de PP son muy susceptibles a la incidencia de hongos. Los frutos con mayor PP fueron los genotipos tipo cereza LOR52, seguido del LOR88 alcanzando valores entre 16 y 12 % a los 13 días de almacenamiento en estado 1 y 4 de cosecha, respectivamente. Se ha propuesto que la PP generalmente es mayor en frutos pequeños, debido a que tienen una mayor área expuesta con respecto a su volumen (Bouzo y Gariglio, 2016).



**Figura 4. Pérdida de peso (PP) durante el almacenamiento a  $23.5 \pm 0.04$  °C y  $56.39 \pm 0.58$  % humedad de los frutos de tomate cosechados en dos estados de madurez. Genotipos tipo cereza (A), OV (B), riñón (C), CC y el híbrido comercial tipo saladette (D). Valores con diferente letra en cada tiempo de almacenamiento son estadísticamente diferentes entre genotipos (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).**

## Firmeza

Durante el manejo postcosecha, los frutos experimentan diferentes tipos de daño, por compresión, fricción y golpes, por lo cual entre mayor sea la firmeza a la cosecha, mayor resistencia tendrá el fruto (Batu, 2004). De acuerdo con los resultados de firmeza presentados en el cuadro 4, existen diferencias significativas entre genotipos ( $p \leq 0.05$ ), teniendo mayor firmeza los frutos del CID-HC, seguido de CC LOR102 y de los frutos tipo riñón LOR82 en estado 1 recién cosechados. Los frutos cosechados en estado 1 perdieron mayor firmeza durante el almacenamiento que los del estado 4, con valores iniciales de firmeza entre 0.63-4.44 N recién cosechados, hasta 0.39-1.23 a los 7 días de almacenamiento; mientras que los frutos cosechados en el estado 4, tuvieron valores entre 0.30-1.20 N a la cosecha hasta 0.29-0.87 N a los 7 días de almacenamiento.

El ablandamiento de los frutos se debe a que durante la maduración actúan enzimas como las celulasas, pectinesterasas y poligalacturonasas, siendo esta última la principal causante del ablandamiento, ya que su contenido se incrementa durante la maduración y se ha reportado que su expresión presenta una correlación negativa con la firmeza de los frutos (Gómez y Camelo, 2002, Vela-Hinojosa *et al.*, 2018). Según Batu (2004) los frutos grandes de tomate de calidad comercial (50-55 mm de longitud), deben presentar valores de firmeza superiores a 1.45 N. De acuerdo con los resultados obtenidos, los genotipos que cumplen con este requisito son el tipo riñón LOR82, LOR119 y CP-HER, CC y el CID-HC, en estado 1 recién cosechados. Mientras que Bonilla-Barrientos *et al.* (2014), reportan que los frutos de tomate pequeños, como el tipo cereza y OV, generalmente presentan menor firmeza con un promedio de 0.69 N recién cosechados en estado 4. Los frutos tipo cereza LOR52 y LOR88 y los del tipo OV LOR16 y LOR 118 analizados en este trabajo presentaron valores de firmeza en estado 4 recién cosechados, entre 0.30 y 0.42 inferiores a los reportados por Bonilla-Barrientos y colaboradores.

**Cuadro 4. Valores de firmeza, SST, AT, IM de genotipos de tomate en dos estados de madurez y su almacenamiento.**

	Cereza			Ojo de venado		CC	Riñón				Saladette	CV(%)	DMS
	D.A	LOR52	LOR88	LOR16	LOR118	LOR102	LOR77	LOR82	LOR119	CP-HER	CID-HC		
<b>Firmeza (N)</b>													
Estado 1	0	0.63 a	0.97 a	1.14 a	0.58 a	3.77 a	1.30 a	3.01 a	1.52 a	1.48 a	4.44 a	60.26	
	7	0.39 b	0.41 b	0.58 b	0.41 a	1.23 b	0.54 b	1.20 b	0.69 b	0.61 b	1.22 b	41.02	
	14	0.34 b	0.36 b	0.41 b	0.40 a	0.87 c	--	0.93 bc	0.51 b	0.44 b	0.92 cd	25.86	
Estado 4	0	0.42 b	0.35 b	0.40 bc	0.30 a	0.80 c	0.51 b	0.69 cd	0.51 b	0.45 b	1.20 bc	25.98	
	7	0.41 b	0.30 b	0.30 c	0.29 a	0.67 c	0.36 b	0.59 d	0.47 b	0.38 b	0.87 d	19.43	
	14	0.43 b	0.26 b	0.21 c	--	--	--	--	--	--	0.75 d	19.35	0.32
<b>SST (%)</b>													
Estado 1	0	5.98 b	5.95 a	5.16 b	5.36 a	4.36 a	5.00 b	4.36 a	4.81 a	4.30abc	4.33 a	7.56	
	7	6.70 a	5.86 ab	6.60 a	5.25 ab	3.93 a	3.93 c	3.93 a	4.36 ab	4.21 bc	4.65 a	6.65	
	14	6.08 ab	5.71 ab	6.55 a	4.66 b	3.88 a	--	3.88 a	3.98 b	3.98 c	4.18 a	8.87	
Estado 4	0	6.06 ab	5.25 b	5.50 b	5.38 a	4.36 a	5.81 a	4.36 a	4.78 a	4.86 a	4.40 a	6.66	
	7	5.83 b	5.73 ab	5.25 b	4.96 ab	4.25 a	5.41 ab	4.25 a	4.75 a	4.65 ab	4.43 a	8.70	
	14	5.88 b	5.60 ab	5.31 b	--	--	--	--	--	--	4.20 a	7.71	0.68
<b>AT (%)</b>													
Estado 1	0	0.78 a	1.03 a	0.93 a	0.68 a	0.49 a	0.78 a	0.35 a	0.67 a	0.59 a	0.43 ab	8.07	
	7	0.67 bc	0.84 c	0.71 b	0.69 a	0.42 ab	0.58 b	0.40 a	0.62 ab	0.58 a	0.46 a	7.15	
	14	0.60 c	0.88 c	0.59 c	0.57 b	0.39 b	--	0.40 a	0.52 c	0.43 b	0.36 c	7.87	
Estado 4	0	0.67 bc	0.91 bc	0.70 b	0.67 a	0.37 b	0.65 b	0.37 a	0.55 bc	0.44 b	0.38 bc	8.67	
	7	0.69 b	0.96 ab	0.75 b	0.72 a	0.41 b	0.64 b	0.40 a	0.58 bc	0.49 b	0.39 bc	5.66	
	14	0.70 b	0.87 c	0.72 b	--	--	--	--	--	--	0.37 bc	5.99	0.08
<b>IM</b>													
Estado 1	0	7.7 b	5.7 a	5.5 c	7.9 a	8.8 b	6.4 b	12.3 a	7.2 b	7.3 c	10.0 b	4.97	
	7	10.1 a	7.0 a	9.3 b	7.6 a	10.0 b	6.7 b	9.9 c	7.0 b	7.3 c	10.0 b	5.35	
	14	10.1 a	6.5 a	11.1 a	8.2 a	10.3 b	--	9.6 c	7.6 ab	9.1 b	11.7 a	5.32	
Estado 4	0	9.1 ab	5.7 a	7.8 b	8.0 a	12.7 a	8.9 a	11.6 ab	8.7 a	11.0 a	11.5 ab	5.18	
	7	8.5 b	6.0 a	7.0 bc	6.9 a	9.2 b	8.4 a	10.6 bc	8.1 ab	9.4 ab	11.3 ab	5.31	
	14	8.4 b	6.4 a	7.3 bc	--	--	--	--	--	--	11.2 ab	5.45	0.06

Valores con diferente letra en cada columna, para cada parámetro, son estadísticamente diferentes entre estados de madurez y tiempo de almacenamiento (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). D.A.=Días de almacenamiento, SST=Sólidos solubles totales, AT=acidez titulable, IM=Índice de madurez, --no alcanzó 14 días de almacenamiento, CV=Coefficiente de variación y DMS=Diferencia mínima significativa.

## Sólidos Solubles Totales (SST)

El sabor de los frutos es una característica relevante de su calidad y está dado por el contenido de azúcares y ácidos orgánicos, además de la contribución de los volátiles del aroma. Entre los parámetros que se utilizan para medir el sabor se encuentran los SST y la AT. Los SST son un parámetro que indica el porcentaje de sólidos disueltos en la pulpa de los frutos, que comprende principalmente, azúcares, ácidos, pectinas, compuestos fenólicos entre otros (Kader, 2008; Siddiqui *et al.*, 2015). Arana *et al.* (2007) consideran que, para tener un sabor óptimo, los tomates en estado rojo que se consumen en fresco, deben tener un contenido de SST de entre 4 y 6 %. En este estudio, los frutos que presentaron el contenido más altos de SST fueron los tipo cereza (LOR52) seguidos del tipo cereza (LOR88) y de los tipo OV (LOR16 y LOR118), con valores iniciales entre 5.16 a 5.98, sin presentar cambios significativos durante el almacenamiento en ambos estados, mientras que los contenidos más bajos de SST se obtuvieron en los frutos tipo riñón (LOR82, LOR119 y CP-HER), en los frutos CC (LOR102) y en los frutos CID-HC, con valores iniciales de 4.30 a 4.81 sin observarse diferencias significativas durante el almacenamiento o por efecto del estado de madurez al cosechar, excepto CP-HER que disminuyó el contenido de SST durante el almacenamiento en ambos estados de madurez. Los frutos tipo riñón LOR77 presentaron valores mayores de 5 % en estado 4, similares al de los frutos tipo OV y cereza (Cuadro 4). Bonilla-Barrientos *et al.* (2014) reportaron valores en frutos tipo cereza de 4.4 %, mientras que en frutos tipo riñón y saladette en estado rojo recién cosechados, reportaron valores de 3.88 y 3.99 %, respectivamente. Dichos valores están en el mismo intervalo de los encontrados en los genotipos analizados en este estudio.

## Acidez titulable (AT)

La AT es una variable que contribuye al sabor en los frutos, en tomate los principales ácidos son cítrico y málico cuya proporción depende del tipo de

tomate. Los resultados de AT se presentan en el cuadro 4. Los frutos cosechados en estado 1 tuvieron valores de AT entre 0.35 % (LOR82 tipo riñón) a 1.03 % (tipo cereza LOR88). Se observa que en general la AT disminuyó durante el almacenamiento hasta los 7 días, en los frutos cosechados en estado 1. Los frutos cosechados en estado 4 tuvieron valores de AT entre 0.37 % (CC LOR102 y tipo riñón LOR82) hasta 0.91 % (tipo cereza LOR88), sin cambios significativos en la AT durante el almacenamiento en los frutos cosechados en estado 4. Si se analizan los genotipos nativos (tipo riñón LOR82 y LOR119, CC LOR102, tipo cereza LOR52 y LOR88, OV LOR16 y LOR118), se observa que en general presentan valores superiores de AT entre 0.35 a 1.03 % en estado 1 y de 0.37 a 0.91 % en estado 4; mientras que los frutos híbridos CID-CH y CP-HER presentan respectivamente, valores de AT de 0.43 y 0.59 % en el estado 1 y de 0.38 y 0.44 % en el estado 4. Estos resultados coinciden con diversos reportes que indican que los genotipos nativos presentan mayor acidez (0.50-1.01 %) que los híbridos (0.32-0.72 %) (George *et al.*, 2004; Juárez-López *et al.*, 2009).

#### Índice de madurez (IM)

La relación SST/AT (IM) es un mejor indicador del sabor que los SST y AT por separado. Los resultados mostraron que los frutos nativos tipo cereza LOR88, OV LOR118 y el híbrido CID-HC no presentaron cambios significativos en este índice durante el almacenamiento, tanto para los frutos cosechados en estado 1 como para los cosechados en estado 4; lo cual indica pocos cambios en su sabor durante la maduración y a lo largo del tiempo de almacenamiento. Los frutos nativos tipo cereza LOR52 y OV LOR16 cosechados en estado 1, mostraron un incremento significativo en los valores de IM de 7.7-10.1 y 5.5-9.3 respectivamente durante el almacenamiento, que coincide con la disminución significativa de la acidez. En el caso de los frutos de los genotipos tipo riñón LOR77, LOR119 y CP-HER y CC LOR102, presentaron un aumento significativo durante la maduración, con valores que varían de 6.4 a 7.3 en frutos en estado 1 hasta valores de 8.7 a 11.0 en estado 4, sin observarse diferencias significativas

durante el almacenamiento (Cuadro 4). Hernández-Suárez *et al.* (2008) reportan valores de 9.0 a 9.7 en diferentes cultivares de tomate provenientes de Tenerife, España, con lo que alcanzan el sabor adecuado para el consumo. De los frutos estudiados los genotipos tipo cereza LOR52, CC LOR102, tipo riñón LOR82 y el CID-HC se encuentran en el rango de los valores reportados por Hernández-Suárez y colaboradores.

#### Azúcares totales

Del contenido total de sólidos solubles totales (SST), más del 50 % corresponde a azúcares, siendo los más abundantes fructosa y glucosa (Toor *et al.*, 2005). En relación al contenido de azúcares totales en el cuadro 5 se observa que los genotipos tipo cereza LOR52 y LOR88 presentaron valores iniciales en el estado de 18.8 y 18.8 mg g<sup>-1</sup> pf respectivamente. No se observaron diferencias significativas en esta variable ni durante el tiempo de almacenamiento, ni entre los dos estados de madurez. Los frutos tipo OV (LOR16 y LOR118) y CC (LOR102), mostraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre estados de madurez con valores de 15.3 a 21.2 mg g<sup>-1</sup> pf en estado 1 y de 19.3 a 26.9 mg g<sup>-1</sup> pf en estado 4 respectivamente. Los frutos tipo riñón LOR77, LOR82 y LOR119 cosechados en estado 1, disminuyeron significativamente ( $p \leq 0.05$ ) el contenido de azúcares totales después de 7 d de almacenamiento, de 19.1 a 12.8, 17.1 a 12.5 y 24.6 a 18.2 mg g<sup>-1</sup>, respectivamente, mientras que en el estado 4 recién cosechados tuvieron valores de 30.6, 12.5 y 29.8 mg g<sup>-1</sup> pf, respectivamente. Los frutos híbridos cosechados en estado 1 aumentaron el contenido de azúcares después de 7 d de almacenamiento con respecto a los frutos recién cosechados, de 17.9 a 25.1 y 19.0 a 23.6 mg g<sup>-1</sup> pf. No se encontraron diferencias significativas entre los frutos cosechados en estado 1 y almacenados 7 días con respecto a los frutos recién cosechados en estado 4 (Cuadro 5).

Hernández-Suárez *et al.* (2008) reportan intervalos de 8.5 a 10 mg g<sup>-1</sup> de pf de glucosa y de 9.6 a 12.4 mg g<sup>-1</sup> de pf para fructosa en siete cultivares del sur de España. En este estudio se obtuvieron valores para glucosa de 6.5 a 10.7 mg g<sup>-1</sup>

<sup>1</sup> pf en estado 1 y de 4.8 a 12.9 mg g<sup>-1</sup> pf en estado 4 y valores de fructosa de 8.80 a 13.87 mg g<sup>-1</sup> de pf en estado 1 y 7.7 a 17.7 mg g<sup>-1</sup> de pf en el estado 4.

### Índice de dulzura (TSI)

Al calcular el índice de dulzura se observó que los genotipos más dulces fueron los del tipo riñón LOR77 y LOR119 en frutos cosechados en estado 4 y el tipo OV LOR118 y el tipo riñón CP-HER en los frutos cosechados en estado 1 después de 7 días de almacenamiento. El índice de dulzura involucra la contribución directa de sacarosa, glucosa y en especial fructosa dada por sus contenidos y por su poder edulcorante (Beckles, 2012).

### Ácidos orgánicos

El principal ácido orgánico en los frutos de tomate es el ácido cítrico. Los genotipos tipo cereza LOR52, LOR88 y tipo riñón LOR77 cosechados en el estado 1 presentaron una disminución significativa durante el almacenamiento, con valores de 266.5 a 85.3, 552.3 a 402.6 y 289.5 a 187.3 mg 100 g<sup>-1</sup> pf, respectivamente, como al avanzar el estado de maduración. Los frutos OV LOR16 y LOR118, CC LOR102, tipo riñón LOR82, LOR119 y CP-HER y el híbrido CID-HC cosechados en estado 1, no mostraron cambios significativos durante el almacenamiento ni con la maduración, excepto el tipo riñón LOR119 y CP-HER que presentaron valores de 215.1 y 55.9 mg 100 g<sup>-1</sup> pf en estado 1 y 61.2 y 168.2 mg 100 g<sup>-1</sup> pf en estado 4, respectivamente. Hernández-Suárez *et al.* (2008) reportaron en cultivares de tomate un contenido de 322 a 389 mg de ácido cítrico 100 g<sup>-1</sup> pf (Cuadro 5). En este estudio, el genotipo cereza LOR88 cosechado en estado 4, presentó valores en el intervalo de los reportados por Hernández-Suárez y colaboradores, sobresaliendo respecto a los demás que presentaron valores inferiores.

El ácido málico es el segundo ácido orgánico más abundante en tomate (Charles *et al.*, 2016). Los frutos de los genotipos tipo cereza LOR88, OV LOR16 y LOR118, riñón LOR77, LOR82, CP-HER y el híbrido CID-HC no presentaron diferencias

significativas durante el almacenamiento ni por efecto del estado de madurez, excepto CID-HC que presentó un contenido significativamente mayor en estado 1 respecto al estado 4 (80.3 mg 100 g<sup>-1</sup> pf y 25.4 mg 100 g<sup>-1</sup> pf respectivamente). Los genotipos tipo cereza LOR52, CC LOR102 y tipo riñón LOR119 cosechados en estado 1 aumentaron el contenido de ácido málico a los 7 días de almacenamiento, respecto al contenido inicial de 33.1 a 54.8 mg 100 g<sup>-1</sup> pf, de 8.7 a 23.6 mg 100 g<sup>-1</sup> pf y de 8.3 a 38.8 mg 100 g<sup>-1</sup> pf, respectivamente (Cuadro 5). Hernández-Suárez *et al.* (2008) y Aguayo *et al.* (2013) reportaron valores entre 40 a 92 mg 100 g<sup>-1</sup> pf de ácido málico, los híbridos de este estudio son los únicos que se encuentran dentro de estos niveles.

Se ha reportado que la AT de los frutos de tomate está dada principalmente por el contenido de ácido cítrico (Figàs *et al.*, 2015) esto se confirmó con la correlación positiva que presentaron ambos parámetros en el presente estudio (Cuadro 6). La mayor acidez que proporciona este ácido se debe a que en su estructura presenta tres grupos carboxilos (COOH), mientras que el ácido málico presenta dos (Wade, 2011). También se encontró una correlación positiva entre el contenido de ácido cítrico y el contenido de SST, así como una correlación negativa entre el contenido de ácido cítrico y el IM.

**Cuadro 5. Contenido de azúcares y ácidos orgánicos de genotipos nativos e híbridos de tomate en dos estados de madurez y su almacenamiento.**

	Cereza		Ojo de venado		CC	Riñón				Saladette			
	D.A	LOR52	LOR88	LOR16	LOR118	LOR102	LOR77	LOR82	LOR119	CP-HER	CID-HC	CV(%)	DMS
<b>Azúcares totales (mg g<sup>-1</sup> pf)</b>													
Estado 1	0	18.8 a	18.8 a	15.3 b	21.2 b	15.9 ab	19.1 b	17.1 a	24.6 b	17.9 b	19.0 b	10.9	
	7	17.0 a	20.7 a	15.2 b	24.7 ab	15.4 b	12.8 c	12.5 b	18.2 c	25.1 a	23.6 a	17.9	
Estado 4	0	18.8 a	18.2 a	19.8 a	26.9 a	19.3 a	30.6 a	12.5 b	29.8 a	23.6 a	25.2 a	4.1	4.46
<b>Fructosa (mg g<sup>-1</sup> pf)</b>													
Estado 1	0	10.8 a	11.5 a	8.8 b	12.2 b	9.4 a	10.8 b	10.4 a	13.9 b	10.3 b	10.6 b	10.3	
	7	9.8 a	12.9 a	8.7 b	15.0 a	9.4 a	8.0 c	8.0 b	10.7 c	14.1 a	13.1 a	12.4	
Estado 4	0	11.4 a	11.2 a	11.8 a	15.7 a	11.4 a	17.7 a	7.7 b	17.1 a	13.7 a	14.2 a	14.2	2.56
<b>Glucosa (mg g<sup>-1</sup> pf)</b>													
Estado 1	0	7.9 a	7.3 a	6.5 a	9.0 b	6.6 ab	8.3 b	6.8 a	10.7 b	7.6 b	8.4 b	17.3	
	7	7.2 a	7.8 a	6.5 a	9.7 ab	6.1 b	4.8 c	4.6 b	7.6 c	11.0 a	10.5 a	16.9	
Estado 4	0	7.4 a	7.1 a	8.1 a	11.2 a	7.9 a	12.9 a	4.8 b	12.7 a	9.8 a	11.0 a	14.2	2.06
<b>TSI</b>													
Estado 1	0	22.3 a	22.8 a	18.2 b	25.1 b	19.1 ab	22.6 b	20.7 a	29.0 b	21.3 b	22.3 b	10.8	
	7	20.1 a	25.3 a	18.0 b	29.9 a	18.7 b	15.6 c	15.4 b	21.7 c	29.5 a	27.7 a	8.3	
Estado 4	0	22.7 a	22.1 a	23.8 a	32.1 a	23.1 a	36.4 a	15.2 b	35.3 a	28.1 a	29.6 a	4.0	5.23
<b>Cítrico (mg 100 g<sup>-1</sup> pf)</b>													
Estado 1	0	266.1 a	552.3 a	256.8 a	269.7 a	68.8 a	289.5 a	138.3 a	215.1 a	55.9 b	136.9a	7.2	
	7	85.3 b	402.6 b	261.6 a	245.3 a	66.7 a	187.3 b	98.8 a	198.1 a	83.9 b	109.3a	8.7	
Estado 4	0	116.2 b	318.6 b	246.7 a	268.9 a	39.6 a	178.3 b	154.3 a	61.2 b	168.2a	107.9a	10.8	3.96
<b>Málico (mg 100 g<sup>-1</sup> pf)</b>													
Estado 1	0	33.1 b	31.2 a	17.8 a	20.9 a	8.7 b	10.5 a	4.7 a	8.3 b	104.8a	80.3 a	30.1	
	7	54.8 a	30.5 a	21.1 a	17.5 a	23.6 ab	22.0 a	11.5 a	38.9 a	77.5 a	82.2 a	22.8	
Estado 4	0	38.6 ab	20.6 a	33.1 a	17.7 a	35.0 a	6.9 a	15.9 a	12.3 b	68.8 a	25.4 b	16.4	24.86

Valores con diferente letra en cada columna, son estadísticamente diferentes entre estados de madurez y tiempo de almacenamiento (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). CC=chino criollo, D.A.= días de almacenamiento, TSI=índice de dulzura, CV=Coeficiente de variación y DMS=Diferencia mínima significativa.

**Cuadro 6. Coeficientes de correlación de variables de calidad sensorial de genotipos nativos e híbridos de tomate.**

	AT	IM	TSI	Azúcares	Cítrico	Málico
SST	0.710*	-.479*	-0.223	-0.205	0.611*	-0.196
AT		-.932**	-0.054	-0.062	0.781**	-0.159
IM			0.060	0.059	-.648*	0.069
TSI				0.999**	-0.058	0.162
Azúcares					-0.068	0.154
Cítrico						-0.251

SST=Sólidos solubles totales, AT= Acidez titulable, IM=índice de madurez y TSI= índice de dulzura. \*estadísticamente significativo  $p \leq 0.05$ , \*\*estadísticamente significativo  $P < 0.001$ .

### 1.5 CONCLUSIONES

Los genotipos tipo cereza LOR88 y OV fueron más precoces en alcanzar su máximo tamaño y madurez de consumo a los 59 y 66 ddf, respectivamente; además de presentar el mayor porcentaje de SST. Los frutos tipo cereza LOR88 obtuvieron los valores más altos de AT durante el almacenamiento en ambos estados de madurez, debido al alto contenido de ácido cítrico. Los frutos cosechados en estado 4 con mayor TSI fueron los de los genotipos tipo riñón LOR77 y LOR119. Durante el almacenamiento de los frutos, los genotipos tipo riñón cosechados en el estado 4, tuvieron menor vida de anaquel que los genotipos tipo cereza debido a la mayor susceptibilidad a enfermedades que presentaron. El genotipo tipo CC LOR102 y tipo riñón CP-HER presentaron menor pérdida de peso durante el almacenamiento y el CC LOR102 mayor firmeza; sin embargo, fueron más susceptibles a la incidencia de hongos.

Algunos de los frutos de los genotipos estudiados (LOR77, LOR119, LOR102, CP-HER, LOR16 y LOR88) cosechados en estado 1, obtuvieron al final del almacenamiento, valores menores en algunos de los parámetros de calidad analizados (SST, azúcares, AT, TSI e IM), con respecto a los frutos cosechados en estado 4.

## 1.6 LITERATURA CITADA

Arias R., T. C. Lee, L. Logendra y H. Janes (2000) Correlation of lycopene measured by HPLC with the L\*, a\*, b\* color readings of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48: 1697-1702.

Aguayo E., V. Escalona, A. C. Silveira, y F. Artés (2014) Quality of tomato slices disinfected with ozonated water. *Food Science and Technology International* 20 (3): 227-235.

Arana I., C. Jarén, S. Arazuri, G. M. J. García, A. Ursua y P. Riga (2007) Calidad del tomate fresco: técnica de cultivo y variedad 19 (8): 111-115.

Artés F. y F. Artés (2007) Tratamientos Postrecolección del Tomate Fresco. Tendencias e Innovaciones. Grupo de Postrecolección y Refrigeración. Departamento de Ingeniería de Alimentos, Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, España. 23 pp.

Azzi L., C. Deluche, F. Gévaudant, N. Frangne, F. Delmas, M. Hernould y C. Chevalier (2015) Fruit growth-related genes in tomato. *Journal of Experimental Botany* 66 (4): 1075-1086.

Ballester, A. R., J. Molthoff, R. de Vos, B. te Lintel Hekkert, D. Orzaez, J. P. Fernández-Moreno, ... M. Ykema (2010) Biochemical and molecular analysis of pink tomatoes: deregulated expression of the gene encoding transcription factor SIMYB12 leads to pink tomato fruit color. *Plant physiology* 152 (1): 71-84.

Batu A. (2004) Determination of acceptable firmness and color values of tomatoes. *Journal of Food Engineering* 61 (3): 471-475.

Beckles D. (2012). Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content 364 of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biology Technology* 53: 129-140.

Bonilla-Barrientos O., R. Lobato-Ortiz, J. J. García-Zavala, S. Cruz-Izquierdo, D. Reyes-López, E. Hernández-Leal y A. Hernández-Bautista (2014) Diversidad agronómica y morfológica de tomates arriñonados y tipo pimiento de uso local en Puebla y Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37:129-139.

Bouzo C. A. y N. F. Gariglio (2016) Relationship between different physical properties of tomato fruits and water loss during postharvest. *Acta Scientiarum Polonorum-Hortorum Cultus* 15 (1): 13-25.

Brandt S., Z. Pék, É. Barna, A. Lugasi, y 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. Lestrangle y B. Aegerter (2007) Report to the California tomato commission. Tomato variety trials: postharvest evaluations for 2006. UC Davis, Davis Ca. USA. 16 p.

Carrillo L. A. y E. M. Yahia (2014) Changes in color-related compounds in tomato fruit exocarp and mesocarp during ripening using HPLC-APCI+-mass Spectrometry. *Journal of food science and technology* 51 (10): 2720-2726.

Carrillo-Rodríguez J. C., J. L. Chávez-Servia, G. Rodríguez-Ortiz, R. Enríquez-del Valle y Y. Villegas-Aparicio (2013) Variación estacional de caracteres agromorfológicos en poblaciones nativas de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 6:1081-1091.

Casierra-Posada F. y O. E. Aguilar-Avendaño (2008) Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. *Agronomía Colombiana* 26: 300-307.

Casierra P. F. y M. C. Cardozo (2009) Análisis básico del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill, cv.'Quindío') cultivados a campo abierto. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 62 (1): 4815.

Causse M., C. Friguet, C. Coiret, M. Lépiciier, B. Navez, M. Lee y S. Grandillo (2010) Consumer preferences for fresh tomato at the European scale: a common segmentation on taste and firmness. *Journal of Food Science* 75 (9): 531-541.

Charles M. T., J. Arul, D. Charlebois, E. S. Yaganza, D. Rolland, D. Roussel y M. J. Merisier (2016) Postharvest UV-C treatment of tomato fruits: Changes in simple sugars and organic acids contents during storage. *LWT-Food Science and Technology* 65:557-564

Figàs M. R., J. Prohens, M. D. Raigón, A. Fita, M. D. García-Martínez, C. Casanova y S. Soler (2015) Characterization of composition traits related to organoleptic and functional quality for the differentiation, selection and enhancement of local varieties of tomato from different cultivar groups. *Food Chemistry* 187:517-524.

George B., C. Kaur, D. S. Khurdiya y H. C. Kapoor (2004) Antioxidants in tomato (*Lycopersium esculentum*) as a function of genotype. *Food Chemistry* 84:45-51 (1): 45-51.

Gómez P. A. y A. F. Camelo (2002) Calidad postcosecha de tomates almacenados en atmósferas controladas. *Horticultura Brasileira* 20(1): 38-43.

Hernández-Suárez M., E. Rodríguez-Rodríguez y C. Díaz-Romero (2008) Analysis of organic acid content in cultivars of tomato harvested in Tenerife. *European food research and technology* 226 (3): 423-435.

Hyams D. (1698). *Curve Expert V. 1.4* Microsoft USA.

Ilić Z. S., L. Milenković, L. Šunić y E. Fallik (2015) Effect of coloured shade-nets on plant leaf parameters and tomato fruit quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95 (13):2660-2667.

Juárez-López P., R. Castro-Brindis, T. Colinas-León, P. Ramírez-Vallejo, M. Sandoval-Villa, D. W. Reed y S. King (2009) Evaluación de calidad de frutos de

siete genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*). Revista Chapingo Serie Horticultura 15 (2): 5-9.

Kader A.A. (2003) A perspective on postharvest horticulture (1978–2003). HortScience 38: 1004-1008.

Kader A. A. (2008) Flavor quality of fruits and vegetables. Journal of the Science of Food and Agriculture 88 (11): 1863-1868.

Martínez-Barajas B, E. (2003) Análisis de la acumulación de azúcares en pericarpios de dos genotipos silvestres de jitomate (*Lycopersicon esculentum*). Agrociencia 37 (4): 363-370.

Martín-Hernández S., V. M. Ordaz-Chaparro, P. Sánchez-García, B. Colinas-León y L. Borges-Gómez (2012) Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de tezontle. Agrociencia 46 (3): 243-254.

Nour V., I. Trandafir e M. E. Ionica (2010) HPLC organic acid analysis in different citrus juices under reversed phase conditions. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca 38: 44.

Siddiqui M. W., J. F. Ayala-Zavala y R. S. Dhua (2015) Genotypic variation in tomatoes affecting processing and antioxidant attributes. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 55 (13): 1819-1835.

Srivastava A. y A. K. Handa (2005) Hormonal regulation of tomato fruit development: a molecular perspective. Journal of Plant Growth Regulation 24 (2): 67-82.

Steiner A. A. (1966) The influence of the chemical composition of a nutrient solution on the production of tomato plants. Plant and Soil 24 (3): 454-466.

Stikić R., Z. Jovanović, B. Vucelić-Radović, M. Marjanović y S. Savić (2015) Tomato: a model species for fruit growth and development studies. *Botanica Serbica* 39 (2): 95-102.

Suárez M. H., E. R. Rodríguez y C. D. Romero (2008) Chemical composition of tomato (*Lycopersicon esculentum*) from Tenerife, the Canary Islands. *Food Chemistry* 106 (3): 1046-1056.

Toor R. K., C. E. Lister y G. P. Savage (2005) Antioxidant activities of New Zealand-grown tomatoes. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 56 (8): 597-605.

Valle M. E. y G. Rodríguez (2011) Evaluación de vitamina C por HPLC en el desarrollo postcosecha del tomate (*Solanum lycopersicum* var. Dominator). *Revista ECIPERÚ*.

Vela-Hinojosa C., C. Barbosa-Martínez, H. B. Escalona-Buendía, J. A. Mendoza-Espinoza, R. Lobato-Ortíz, J. E. Rodríguez-Pérez, ... y L. J. Pérez-Flores (2017) Architectural Diversity of the Cuticle and Epidermis of Native and Hybrid Tomato Fruit Genotypes and the Relation to Polygalacturonase Expression. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 46 (1): 45-51.

Vogel J. T., D. M. Tieman, C. A. Sims, A. Z. Odabasi, D. G. Clark y H. J. Klee (2010) Carotenoid content impacts flavor acceptability in tomato (*Solanum lycopersicum*). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90 (13): 2233-2240.

Wade L. G. (2011) *Química orgánica I*. Séptima edición. México, Pearson Prentice Hall. Consultado el 02-marzo-2018 en [https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/36820762/\\_DIGITAL\\_Quimica\\_Organica\\_V1\\_Wade\\_7ma.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1520274280&Signature=qttq2gL5feX2WXCpVB878Vti4n0%3D&responsecontentdisposition=inlined%3B%20filename%3DDIGITAL\\_Quimica\\_Organica\\_V1\\_Wade\\_7ma.pdf](https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/36820762/_DIGITAL_Quimica_Organica_V1_Wade_7ma.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1520274280&Signature=qttq2gL5feX2WXCpVB878Vti4n0%3D&responsecontentdisposition=inlined%3B%20filename%3DDIGITAL_Quimica_Organica_V1_Wade_7ma.pdf)

## **CAPÍTULO II. ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE Y COMPUESTOS FUNCIONALES DE GENOTIPOS NATIVOS DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)**

### 2.1 RESUMEN

La mayoría de estudios para programas de mejoramiento genético se han enfocado en aumentar el rendimiento, la resistencia a enfermedades y mejorar algunos atributos de calidad (tamaño, forma, color, firmeza), pero existen pocos estudios relacionados con la calidad funcional de los frutos. El objetivo de esta investigación fue evaluar la calidad funcional (fenoles totales, ácido ascórbico, carotenoides y actividad antioxidante) de frutos de tomate de ocho genotipos nativos, un híbrido experimental, así como de un híbrido comercial. Las evaluaciones se realizaron en frutos de tomate en dos estados de madurez (1 y 4) y durante 0 y 7 de almacenamiento. En compuestos fenólicos, los genotipos sobresalientes por su mayor contenido en frutos cosechados en estado 4 y en estado 1 almacenados siete días, son los del tipo cereza LOR88 y LOR52. Mientras que, en contenido de ácido ascórbico sobresalen en frutos cosechados en estado 4 los genotipos CC LOR102 y el tipo riñón LOR119. En general, el contenido de carotenoides totales incrementó durante el almacenamiento, siendo el principal el licopeno. Los frutos de LOR52 cosechados en estado 4 sobresalen por su alto contenido de licopeno,  $\beta$ -caroteno y luteína. En AAH no se observaron cambios significativos durante el almacenamiento, en comparación con la AAL que aumentó. Se observó una correlación positiva entre la AAH y compuestos fenólicos ( $r = 0.91$ ,  $p < 0.001$ ), mientras que en AAL la mayor correlación positiva se dio con el contenido de licopeno ( $r = 0.78$ ,  $p < 0.001$ ). Se encontraron genotipos, con potencial para ser usados como fuente de germoplasma en programas de mejoramiento genético que ayuden a incrementar el contenido de antioxidantes (compuestos fenólicos y carotenoides) y contenido de vitamina C (LOR102) y proporcionar mayor calidad nutracéutica a los frutos de tomate.

## 2.2 INTRODUCCIÓN

El tomate es uno de los frutos más populares y consumidos en todo el mundo, se considera fuente importante de compuestos antioxidantes, ya que contiene principalmente, carotenoides (licopeno,  $\beta$ -caroteno y luteína), polifenoles, vitaminas (C y E) y minerales, entre otros. El consumo de tomate ayuda a contrarrestar el desarrollo de enfermedades relacionadas con el estrés oxidante, como las enfermedades crónico degenerativas y el cáncer (Krzyzanowska *et al.*, 2010; Anton Dea *et al.*, 2014).

Los carotenoides son metabolitos secundarios que poseen actividad antioxidante y antiproliferativa (Bhandari y Lee, 2016). Estos compuestos son lipofílicos y responsables del color en las plantas (rojo, amarillo y naranja). En los frutos de tomate, el licopeno es el principal carotenoide y es considerado el antioxidante más eficiente entre estos compuestos. Epidemiológicamente se ha correlacionado con un menor riesgo de cáncer de próstata (George *et al.*, 2004). El  $\beta$ -caroteno es el segundo carotenoide más abundante en frutos de tomate, inhibe la proliferación en diversas líneas celulares de cáncer epitelial humano (Giovannucci, 1999). La luteína es el carotenoide menos abundante en frutos de tomate, reduce el riesgo de contraer cáncer de pulmón (Bramley, 2002).

En relación a los fenoles y ácido ascórbico, son compuestos que no presentan altos niveles en los frutos de tomate, en comparación a los de otros frutos. Sin embargo, se considera que la aportación de estos compuestos es significativa, debido al alto consumo *per capita* de tomates, tanto en México, como en todo el mundo (George *et al.* 2004; Hanson *et al.*, 2004). Los compuestos fenólicos y el ácido ascórbico, también juegan un papel importante en la actividad antioxidante y prevención de enfermedades, ya que actúan como antiinflamatorios, antimicrobianos, neuroprotectores y cardioprotectores, antiescorbuto y anticancerígenos (Cano *et al.*, 2003; Zushi y Matsuzoe, 2012; Figàs *et al.*, 2015)

Es necesario que, para obtener información más completa sobre la actividad antioxidante de los frutos de tomate, no solo se evalúe el contenido de los compuestos antioxidantes, sino además se debe medir la actividad antioxidante tanto de la fase hidrofílica como de la lipofílica (Cano *et al.*, 2003).

Hoy en día, la calidad funcional es uno de los principales objetivos del mejoramiento de tomate (Ceballos-Aguirre *et al.*, 2012). Por lo que, la medición del contenido de compuestos antioxidantes y actividad antioxidante en frutos, se está convirtiendo en un parámetro de evaluación importante para la calidad funcional (Lenucci *et al.*, 2006; Ilahy *et al.*, 2011; Kotikova *et al.*, 2011).

En algunos estudios se han encontrado parientes silvestres o genotipos nativos de *Solanum lycopersicum* L. que sobresalen en su composición, así como en el contenido de licopeno, ácido ascórbico, compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante. Tal es el caso de Kaur *et al.* (2013) encontraron concentraciones de fenoles totales de 263.4 a 594.4  $\mu\text{g EAG g}^{-1}$  pf. Mientras que Charles *et al.* (2016) reportaron en cinco cultivares de tomate, contenidos altos de ácido ascórbico (100 a 200  $\mu\text{g g}^{-1}$  pf). Estas características pueden ser usadas como fuente directa de compuestos antioxidantes mediante su comercialización (Vásquez-Ortiz *et al.*, 2010), así como incorporar a los genotipos nativos más sobresalientes en programas de mejoramiento.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el contenido de compuestos funcionales ( $\beta$ - caroteno, licopeno, luteína, ácido ascórbico y fenoles totales), así como la actividad antioxidante (hidrofílica y lipofílica), de genotipos nativos de tomate que resulten de interés para incrementar la variabilidad genética, así como el contenido de compuestos funcionales en los frutos comerciales de esta especie, mediante su inclusión en programas de mejoramiento, o mediante su uso como variedades de uso local.

## 2.3 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.3.1 Material vegetal

Se utilizaron ocho genotipos nativos de tomate (LOR52, LOR88, LOR16, LOR18, LOR102, LOR82, LOR119 Y LOR77) provenientes de los estados de Puebla y Veracruz (Bonilla-Barrientos *et al.*, 2014), un híbrido experimental (CP-HER) y un híbrido comercial (CID-HC) como testigo, clasificados en cinco grupos por las características morfológicas de los frutos (Cuadro 1). Los grupos son cereza, ojo de venado (OV), chino criollo (CC), riñón y saladette. Las semillas fueron proporcionadas por el Programa de Conservación y Mejoramiento de los Recursos Genéticos del Jitomate en el Colegio de Postgraduados.

**Cuadro 1. Identificación de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) de genotipos nativos, híbrido experimental e híbrido comercial.**

Muestra	Origen	Forma	Lugar de colecta	
LOR52 Nativo	CP 2011	Cereza	Papantla, Veracruz.	
LOR88 Nativo	12412- 12345	Cereza	Otitlán, Puebla.	
LOR16 Nativo	CP 2011	Ojo de Venado (OV)	Huatusco, Veracruz.	
LOR118 Nativo	12434- 12345	Ojo de Venado (OV)	La Ceiba, Puebla.	

LOR102 Nativo	12422- 12345	Chino criollo (CC)	Sta. María Coapan, Puebla.	
LOR77 Nativo	14780-1	Riñón	La Ceiba, Puebla.	
LOR82 Nativo	B-14783-3	Riñón	Altepexi, Puebla.	
LOR119 Nativo	121302-2	Riñón	La Ceiba, Puebla.	
CP-HER Híbrido Experimental	121302-2 x 121291	Riñón		
CID-HC Híbrido comercial		Saladette		

### 2.3.2 Diseño experimental y análisis estadístico

Para el análisis de las variables de fenoles totales, ácido ascórbico, carotenoides y actividad antioxidante (hidrofílica y lipofílica) se utilizó un diseño factorial 10 x 2 x 2 en un arreglo completamente al azar con tres repeticiones, que incluyó 10 materiales genéticos, 2 estados de madurez (1 y 4) y 2 periodos de almacenamiento (0 y 7 días). Cada repetición consistió de 3, 10 y 25 frutos para los genotipos grandes (riñón, CC y saladette), medianos (OV) y pequeños (cereza),

respectivamente. El modelo estadístico fue:  $Y_{ijk} = \mu + g_i + m_j + f_k + (gm)_{ij} + (gf)_{ik} + (mf)_{jk} + (gmf)_{ijk} + e_{ijk}$  donde  $Y_{ijk}$  es la variable respuesta,  $\mu$  es la media de la población,  $g_i$  es el efecto del  $i$ -ésimo genotipo,  $m_j$  es el efecto del  $j$ -ésimo estado de madurez,  $f_k$  es el efecto de la  $k$ -ésima fecha,  $(gm)_{ij}$ ,  $(gf)_{ik}$ ,  $(mf)_{jk}$  y  $(gmf)_{ijk}$  son las interacciones dobles y triples y el  $e_{ijk}$  es el efecto del error. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y cuando hubo efectos en sus interacciones, se realizó la prueba de Tukey con un nivel de significancia de  $\alpha=0.05$ , mediante el paquete estadístico R 3.5.0 (2018).

Cuando las variables no cumplían el supuesto de distribución normal, se transformaron con Raíz cuadrada (licopeno, carotenoides totales) y Log (luteína). Se calculó la correlación entre las variables, mediante el coeficiente de correlación de Pearson. Con los promedios de las variables se realizó un análisis de componentes principales, mediante el paquete estadístico SAS v. 9.0 (Institute, Cary, NC, USA).

### **2.3.3 Siembra de los materiales**

La siembra de los materiales se realizó el 1 de abril de 2016 (ciclo primavera-verano), en charolas de unicel con sustrato de peat moss y riego con agua normal (de la llave). Después de presentar las primeras hojas, el riego manual fue con solución nutritiva Steiner (Steiner, 1966) al 25 % hasta su trasplante. El trasplante se realizó a los 30 días de la siembra, en bolsas negras de polietileno con arena volcánica (tezontle rojo) como sustrato y se distribuyeron en un invernadero en Montecillo, Texcoco, Edo. de México (19° 30' N y 98° 53' O) a una altitud de 2250 m. Se sembraron 5 plantas por  $m^2$ . El riego se hizo manualmente dos veces al día hasta la floración, con solución nutritiva Steiner (Steiner, 1966) al 50 %. A partir del inicio de la floración, 30 días después del trasplante y hasta la fructificación, el riego se realizó manualmente dos veces por día con solución Steiner al 100 %. Las plantas fueron tutoradas y los brotes laterales fueron removidos cada que aparecían, de tal forma que las plantas se condujeran a un solo tallo. Las condiciones ambientales promedio durante el cultivo, entre los

meses de abril y agosto fueron las siguientes: temperatura  $17.8 \pm 4.3$  °C y HR  $79.7 \pm 12.9$  %. Como medida preventiva se realizó una aplicación de diferentes plaguicidas: Ridomil Gold® (6 mL L<sup>-1</sup>), Amistar® (1.5 g L<sup>-1</sup>), Ampligo® (2 mL L<sup>-1</sup>) y Beleaf® (1 g L<sup>-1</sup>) durante el desarrollo de los frutos.

#### **2.3.4 Cosecha de frutos**

Los frutos se cosecharon a partir de los 59 d de la floración (agosto de 2016), en dos estados de maduración: rompiente (estado 1) y rojo (estado 4), tomando como criterio de selección, el color externo de los frutos. La cosecha se realizó durante la mañana, seleccionando los frutos a partir del tercer racimo, se escogieron frutos libres de daños mecánicos, defectos físicos, plagas y enfermedades. Los frutos se cortaron manualmente para evitar daños. Posteriormente, se transportaron al laboratorio para su análisis.

#### **2.3.5 Preparación del material**

Los frutos de tomate de los dos estados de madurez (1 y 4), de cada genotipo (nativos e híbridos) se lavaron superficialmente con agua y se secaron. Posteriormente, se separaron en dos grupos que se analizaron a los 0 y 7 días de almacenamiento. Las condiciones de almacenamiento fueron temperatura  $23.5 \pm 0.04$  °C y HR  $56.39 \pm 0.58$  %. Al terminar el tiempo de almacenamiento los frutos se molieron y homogeneizaron con un equipo (Turmix®) y congelaron a -70°C en ultracongelador (Revco®) hasta su análisis. Las variables que se determinaron fueron actividad antioxidante (hidrofílica y lipofílica), contenido de carotenoides (licopeno, β-caroteno y luteína), ácido ascórbico y fenoles totales.

#### **2.3.6 Extracción de las fases hidrofílica y lipofílica**

Se pesó un gramo de tejido de tomate y se maceró con nitrógeno líquido, después se agregaron 4 mL de metanol (96 % v/v), 3.3 mL de diclorometano (100 %) y 4 mL de buffer Tris HCl (50 mM, pH 7.5), la mezcla se homogeneizó y centrifugó a

2500 g a 5 °C por 5 min. Posteriormente, se recuperaron tanto la fase hidrofílica (sobrenadante), como la fase lipofílica (parte inferior).

### **2.3.7 Variables evaluadas**

#### 2.3.7.1 Compuestos funcionales

##### Fenoles totales

Se tomó una alícuota de fase hidrofílica y se incubó por un minuto con 1 mL de Folin-Ciocalteu 1:10 (v/v) y 60 min con 0.8 mL de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 7.5% (p/v). La cuantificación de fenoles totales se realizó por espectrofotometría a 765 nm. Los resultados se obtuvieron por interpolación en una curva de calibración de ácido gálico y se expresaron como µg EAG g<sup>-1</sup> pf.

##### Ácido ascórbico (vitamina C)

El análisis por HPLC se realizó por el método de Nour *et al.* (2010), con modificaciones mínimas. Se tomaron 5 g de pulpa de tomate molido, se homogenizaron y centrifugaron a 2599 g a 5 °C por 5 min en oscuridad, se recuperó el sobrenadante y se filtró con una membrana de 0.45 µm. Posteriormente, se inyectó una alícuota de 20 µL a un cromatógrafo de líquidos de alta resolución HPLC. El equipo utilizado fue un Agilent Technology 1260 equipado con una columna Hypersil GOLD aQ (250 mm x 4.6 mm, 5 µm) y con un detector de arreglo de diodos con longitud de onda de 254 nm. Se utilizó una fase móvil de buffer de KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> (50 mM, pH 2.8) a una velocidad de flujo de 0.7 mL/min. La identificación y cuantificación de ácido ascórbico se realizó usando el estándar comercial grado HPLC (Sigma-Aldrich, Pennsylvania, USA) y los resultados fueron expresados en µg g<sup>-1</sup> pf.

##### Carotenoides (licopeno, β-caroteno y luteína)

La extracción de carotenoides se realizó de acuerdo a López-Vidal *et al.* (2014), se tomaron 7.5 g de tejido de tomate se homogeneizaron y se filtraron. Se

tomaron 3 mL de jugo de tomate al que se agregaron 0.0025 g de butilhidroxitolueno (BHT); posteriormente se agregaron 10 mL de una solución de solventes hexano/acetona/etanol (50: 25: 25 v/v/v) y la mezcla se agitó por 15 min, después se añadieron 1.5 mL de agua y se agitó otros 5 min. Se extrajo la capa de hexano (sobrenadante) y se realizó una reextracción con la mezcla de solventes antes mencionada. La fase hexánica obtenida se aforó a 10 mL con hexano, se filtró con una membrana de 0.45  $\mu\text{m}$  y se inyectó una alícuota de 20  $\mu\text{L}$  en un cromatógrafo de líquidos de alta resolución HPLC (Agilent Technologies 1260), equipado con un detector de onda múltiple (MWD) a una longitud de onda de 459 nm, con una columna C18 XTerra (250 x 4.6 mm, 5  $\mu\text{m}$ ). La fase móvil consistió en acetonitrilo/ metanol/ diclorometano (43:43:14 v/v/v), con un flujo de 0.1 mL/min y temperatura no controlada. Para la identificación y cuantificación de carotenoides se inyectaron soluciones estándar de licopeno,  $\beta$ -caroteno y luteína (Sigma-Aldrich, Pennsylvania, USA) y los resultados fueron expresados en  $\mu\text{g g}^{-1}$  pf.

#### 2.3.7.2 Actividad antioxidante

Se determinó en la fase hidrofílica y lipofílica. El catión radical de ABTS (Sigma-Aldrich) se preparó según la metodología reportada por Re *et al.* (1999), que consistió en colocar en 100 mL de H<sub>2</sub>O destilada, 0.0165 g de persulfato de potasio (K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>8</sub>) y 0.0962 g del radical ABTS en un frasco color ámbar. La solución fue almacenada en oscuridad por al menos 16 h. Posteriormente, la solución de ABTS se diluyó con PBS al 1 % (v/v) para la determinación en la fase hidrofílica y con etanol al 96 % (v/v) para la determinación en la fase lipofílica. Para realizar la reacción, se tomaron 100 $\mu\text{L}$  de la fase hidrofílica o lipofílica y se agregó 1 mL de solución ABTS diluida, se dejó reposar durante 15 min y se leyó la absorbancia a 734 nm. Los resultados se obtuvieron por medio de una curva de calibración de Trólox (2500 $\mu\text{M}$ ) y se expresaron en equivalentes de Trólox por  $\text{g}^{-1}$  pf.

### 3.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 2.4.1 Compuestos funcionales

##### Fenoles totales

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios importantes debido a las funciones biológicas que tienen, ya que su consumo se encuentra asociado a una reducción en la incidencia de enfermedades (cáncer y desórdenes cardiovasculares) (Bhandari y Lee, 2016). El contenido de compuestos fenólicos en los frutos estudiados se presenta en el cuadro 2. Los frutos tipo cereza LOR88 cosechados en estado 4, presentaron un contenido significativamente superior de compuestos fenólicos con valores  $499.3 \mu\text{g EAG g}^{-1} \text{ pf}$ , seguidos por los frutos del genotipo tipo cereza LOR52 con valores de  $442.7 \mu\text{g EAG g}^{-1} \text{ pf}$ . En relación a los frutos cosechados en estado 1 y almacenados por 7 días se encontró que los frutos tipo cereza LOR52 presentaron el mayor contenido de fenoles totales con  $554.1 \mu\text{g EAG g}^{-1} \text{ pf}$ , seguidos de los frutos tipo cereza LOR88 y OV LOR16 con  $443.6$  y  $473.1 \mu\text{g EAG g}^{-1} \text{ pf}$  respectivamente. Los frutos LOR52 y OV LOR16 cosechados en estado 1 y almacenados durante 7 días, acumularon un contenido de fenoles totales ( $554.1$  y  $473.1 \mu\text{g EAG g}^{-1} \text{ pf}$ ) superior al de los frutos recién cosechados en estado 4 ( $442.7$  y  $360.6 \mu\text{g EAG g}^{-1} \text{ pf}$ ).

Los genotipos sobresalientes por su mayor contenido de compuestos fenólicos fueron los del tipo cereza LOR52 y LOR88 y OV LOR16. Lenucci *et al.* (2006) reportaron en catorce cultivares tipo cereza y en cuatro híbridos altos en licopeno, valores de compuestos fenólicos de  $970$  a  $1330 \mu\text{g EAG g}^{-1} \text{ pf}$ . Ilahy *et al.* (2011) reportaron valores de  $168$  a  $205 \mu\text{g EAG g}^{-1} \text{ pf}$  en tres cultivares altos en licopeno cosechados en estado rojo. Kaur *et al.* (2013) encontraron un contenido de compuestos fenólicos de  $263.4$  a  $594.4 \mu\text{g EAG g}^{-1} \text{ pf}$  en cultivares comerciales. En un estudio reciente, realizado en dieciséis accesiones de la zona andina de Argentina, Di Paola Naranjo *et al.* (2016) reportaron contenidos de compuestos fenólicos entre  $370$  a  $1470 \mu\text{g EAG g}^{-1} \text{ pf}$ . Los genotipos nativos e

híbridos estudiados en el presente trabajo se encuentran en la parte media del intervalo de los reportados en la literatura.

Entre los principales fenoles encontrados en tomate se encuentran quercetina, naringenina, así como los ácidos cafeico, clorogénico, ferúlico y p-cumárico. Estos compuestos fenólicos poseen efectos farmacológicos, antiinflamatorios, antimicrobianos hepatoprotectores, hipoglucémicos y antivirales (Martínez-Valverde *et al.*, 2002; Lenucci *et al.*, 2006; Luthria *et al.*, 2006; Popescua *et al.*, 2013; Kaur *et al.*, 2013). Para los genotipos estudiados se requiere caracterizar los compuestos fenólicos presentes en estos frutos, así como su proporción.

#### Ácido ascórbico (vitamina C)

La vitamina C en frutos de tomate tiene un papel importante en la salud humana ya que tiene efectos benéficos en el sistema inmune, disminuye los efectos de las especies reactivas de oxígeno y nitrógeno conocidas por causar daño oxidante a lípidos, proteínas y ADN (Di Matteo *et al.*, 2010; Gonzales-Cebrino *et al.*, 2011; Bhandari y Lee, 2016). El contenido de vitamina C en los frutos cosechados en estado 4 se encontró entre 65.5 a 433.6  $\mu\text{g g}^{-1}$  pf. Los materiales con mayor contenido de vitamina C fueron los frutos tipo CC LOR102, seguido del tipo riñón LOR119, OV LOR118, cereza LOR88 y CP-HER con valores de 433.6, 386.3, 322.5, 257.5 y 248.7  $\mu\text{g g}^{-1}$  pf, respectivamente (Cuadro 2). Estos contenidos son superiores a los reportados por Charles *et al.* (2016) de 100 a 200  $\mu\text{g g}^{-1}$  pf en cinco cultivares comerciales de tomate. Gould (1992) menciona que es importante desarrollar variedades con concentraciones de esta vitamina mayores a 200  $\mu\text{g g}^{-1}$  pf, ya que su contenido se encuentra reducido en genotipos comerciales. Los genotipos con alto contenido de vitamina C antes mencionados tienen todos ellos valores superiores a los 200  $\mu\text{g g}^{-1}$  pf. En relación a los frutos cosechados en estado 1 y almacenados durante 7 días, se encontró que algunos genotipos aumentaron su contenido de vitamina C durante el almacenamiento, con respecto al contenido en los frutos recién cosechados. Sin embargo, en general se observó que con excepción del genotipo LOR88 cuyo contenido fue de

224.8  $\mu\text{g g}^{-1}$  pf, el resto de los genotipos estudiados tuvieron contenidos inferiores a los 200  $\mu\text{g g}^{-1}$  pf.

**Cuadro 2. Contenido de fenoles totales y ácido ascórbico de genotipos nativos e híbridos de tomate en dos estados de madurez y almacenamiento.**

Genotipo\D.A.	Fenoles totales ( $\mu\text{g EAG g}^{-1}$ pf)			Ácido ascórbico ( $\mu\text{g g}^{-1}$ pf)		
	Estado 1		Estado 4	Estado 1		Estado 4
	0	7	0	0	7	0
<b>Cereza</b>						
LOR52	347.6 c	554.1 a	442.7 b	29.7 b	120.3 a	65.5 b
LOR88	373.5 c	443.6 b	499.3 a	176.0 a	224.8 a	257.5 a
<b>Ojo de venado</b>						
LOR16	350.1 b	473.1 a	360.6 b	32.0 b	180.5 a	166.3 a
LOR118	372.3 a	358.0 a	363.4 a	194.0 b	186.1 b	322.5 a
<b>Chino criollo</b>						
LOR102	207.7 b	232.9 b	350.7 a	91.9 b	94.1 b	433.6 a
<b>Riñón</b>						
LOR77	261.4 b	237.6 b	308.6 a	44.6 b	107.6 a	67.0 b
LOR82	261.4 a	249.3 a	258.3 a	32.6 b	56.6 b	115.2 a
LOR119	243.4 a	274.2 a	263.9 a	30.7 c	134.8 b	386.3 a
CP-HER	219.7 c	293.7 b	344.6 a	56.7 b	106.6 b	248.7 a
<b>Saladette</b>						
CID-HC	261.4 a	182.4 b	213.9 b	56.0 b	138.0 a	92.8 ab
<b>CV(%)</b>	9.19	8.51	7.54	22.25	29.0	14.68
<b>DMS</b>			56.56			104.43

Valores con diferente letra en cada fila, son estadísticamente diferentes entre estados de madurez y tiempo de almacenamiento (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). CC=chino criollo, D.A.=Días de almacenamiento, CV=Coeficiente de variación y DMS=Diferencia mínima significativa.

## Carotenoides (licopeno, $\beta$ -caroteno y luteína)

Los principales carotenoides presentes en los frutos de tomate son licopeno,  $\beta$ -caroteno y luteína, aunque también pueden presentar trazas de otros carotenoides (Siddiqui *et al.*, 2015); su importancia se debe a la actividad antioxidante y antiproliferativa que poseen. Durante la maduración del fruto se incrementan los niveles de carotenoides (Kotikova *et al.*, 2011; Bhandari y Lee 2016). Los resultados del contenido de carotenoides se presentan en el cuadro 3. En los frutos cosechados en estado 4, el contenido de carotenoides totales se encontró entre 19.54 a 55.90  $\mu\text{g g}^{-1}$  pf. Los genotipos sobresalientes en contenido de carotenoides totales fueron el tipo cereza LOR52, seguido del tipo CC LOR102 con valores de 55.90 y 46.29  $\mu\text{g g}^{-1}$  pf respectivamente. En los frutos cosechados en estado 1 y almacenados 7 días, se encontró que todos los genotipos alcanzaban contenidos similares a los alcanzados en los frutos recién cosechados en estado 4, excepto los genotipos tipo cereza LOR52, tipo riñón CP-HER y LOR82 que acumularon valores superiores con 83.28, 60.34, y 42.95  $\mu\text{g g}^{-1}$  pf respectivamente.

El licopeno es el principal carotenoide presente en tomate, siendo el responsable de la pigmentación roja de los frutos (Martínez-Valverde *et al.*, 2002). El contenido de licopeno en los frutos cosechados estado 4 se encontró en un intervalo de 16.36 a 45.34  $\mu\text{g g}^{-1}$  pf (cuadro 3). Los genotipos sobresalientes por su elevado contenido de licopeno, fueron el tipo cereza LOR52, seguido del CC LOR102 con valores de 45.34 y 40.69  $\mu\text{g g}^{-1}$  pf. En relación a los frutos cosechados en estado 1, incrementaron el contenido de licopeno después de 7 días de almacenamiento, alcanzando valores similares al de los frutos cosechados en estado 4, excepto en el caso de los genotipos tipo cereza LOR52 y los de tipo riñón CP-HER y LOR82, que acumularon contenidos superiores con 69.90, 54.20 y 37.74  $\mu\text{g g}^{-1}$  pf respectivamente. Gonzáles-Cebrino *et al.* (2011) reportaron valores entre 25.4 y 62.24  $\mu\text{g g}^{-1}$  pf de licopeno en variedades de tomate cultivadas en España. Por otro lado, Kaur *et al.* (2013) reportaron contenidos de

licopeno en cultivares comerciales de tomate cultivados en el norte de India de 43.1 a 59.7  $\mu\text{g g}^{-1}$  pf. En este trabajo, los genotipos tipo cereza LOR52, CC LOR102, riñón LOR77, LOR119, CP-HER y el híbrido CID-HC se encuentran dentro del intervalo reportado por estos autores.

El  $\beta$ -caroteno constituye una fracción de 7 a 10 % del total de los carotenoides y es precursor de la vitamina A (Bramley, 2002; Lennuci *et al.*, 2006; Kaur *et al.*, 2013). El genotipo tipo cereza LOR52 sobresalió en contenido de  $\beta$ -caroteno en los frutos cosechados en estado 4, con valores de 6.11  $\mu\text{g g}^{-1}$  pf. En general, los frutos cosechados en estado 1 con 7 días de almacenamiento, alcanzaron valores similares a los de los frutos recién cosechados en estado 4, excepto el genotipo tipo cereza LOR52 y los del tipo riñón CP-HER y LOR82 que alcanzaron valores superiores (7.82, 3.88 y 2.32). Ilahy *et al.* (2011) reportaron en seis cultivares altos en licopeno contenidos de 5.8 a 19.4  $\mu\text{g g}^{-1}$  pf de  $\beta$ -caroteno, valores superiores a los encontrados en los genotipos de este estudio. Kaur *et al.* (2013) reportaron en cultivares comerciales contenidos de 1.8 a 6.7  $\mu\text{g g}^{-1}$  pf de  $\beta$ -caroteno. Los genotipos tipo cereza LOR52, LOR88 y riñón LOR82 y CP-HER cosechados en estado 1 después de 7 d de almacenamiento, así como el tipo OV LOR16 en estado 4 recién cosechados, tienen contenidos dentro del intervalo reportado por Kaur *et al.* (2013).

La luteína es un carotenoide que se asocia a la prevención del cáncer de pulmón, además de dar protección a la retina contra la irradiación y disminuir la degeneración macular relacionada con la edad (Bramley, 2002; Lennuci *et al.*, 2006; Smita *et al.*, 2013). Los genotipos con mayor contenido de luteína en los frutos cosechados en estado 4 fueron el tipo el CC LOR102 y cereza LOR52, con valores de 4.69 y 4.46  $\mu\text{g g}^{-1}$  pf respectivamente. Los frutos cosechados en estado 1 después de 7 días de almacenamiento, alcanzaron en general valores similares a los de los frutos cosechados en estado 4. Los genotipos con mayor contenido de luteína fueron el tipo cereza LOR52, seguido del tipo riñón LOR82 y LOR119 con valores de 5.58, 2.90 y 2.51  $\mu\text{g g}^{-1}$  pf respectivamente. Zanfini *et al.* (2010)

reportaron en tres variedades comerciales de tomate, valores de luteína entre 0.16 a 0.21  $\mu\text{g g}^{-1}$  pf, en otros estudios no se ha detectado este carotenoide (Ilahy *et al.*, 2011). En este estudio, todos los genotipos tuvieron contenidos de luteína superiores a los reportados, lo cual nos indica que estos materiales son una fuente importante de luteína para beneficio de la salud.

**Cuadro 3. Contenido de carotenoides de genotipos nativos e híbridos de tomate en dos estados de madurez y almacenamiento.**

		Cereza		Ojo de venado		CC	Riñón			Saladette		
		D.A.	LOR52	LOR88	LOR16	LOR118	LOR102	LOR77	LOR82	LOR119	CP-HER	CV(%)
<b>Carotenoides totales (<math>\mu\text{g g}^{-1}</math> pf)</b>												
Estado 1	0	11.13 c	11.07 b	17.84 a	10.96 b	28.55 a	8.87 b	11.17 b	11.30 b	14.39 c	11.94 b	8.76
	7	83.28 a	18.72 ab	17.96 a	30.75 a	28.90 a	30.42 a	42.95 a	29.68 a	60.34 a	27.99 a	9.04
Estado 4	0	55.90 b	27.82 a	27.52 a	24.02 a	46.29 a	27.91 a	19.54 b	29.50 a	34.59 b	31.48 a	14.11
<b>DMS</b>		1.99										
<b>Licopeno (<math>\mu\text{g g}^{-1}</math> pf)</b>												
Estado 1	0	8.77 c	8.02 b	13.11 a	9.25 b	25.43 a	7.20 b	9.42 b	9.54 b	11.65 c	9.99 b	9.89
	7	69.90 a	14.69 ab	15.87 a	27.15 a	25.30 a	26.61 a	37.74 a	26.15 a	54.20 a	25.18 a	9.67
Estado 4	0	45.34 b	23.41 a	23.97 a	20.95 a	40.69 a	24.58 a	16.36 b	26.49 a	30.67 b	27.68 a	13.92
<b>DMS</b>		1.90										
<b><math>\beta</math>-caroteno (<math>\mu\text{g g}^{-1}</math> pf)</b>												
Estado 1	0	0.71 c	1.11 a	2.78 a	0.82 a	1.20 a	0.42 a	0.78 b	0.56 a	1.17 b	0.59 a	32.37
	7	7.82 a	2.18 a	0.92 b	1.57 a	1.13 a	1.06 a	2.32 a	1.03 a	3.88 a	0.73 a	21.43
Estado 4	0	6.11 b	2.10 a	1.84 ab	1.07 a	0.92 a	0.68 a	0.67 b	0.47 a	1.55 b	0.81 a	30.52
<b>DMS</b>		1.50										
<b>Luteína (<math>\mu\text{g g}^{-1}</math> pf)</b>												
Estado 1	0	1.67 b	1.94 a	1.96 a	0.90 b	1.92 b	1.26 b	0.98 b	1.21 b	1.58 a	1.38 b	36.52
	7	5.58 a	1.87 a	1.18 a	2.03 a	2.47 ab	2.76 a	2.90 a	2.51 a	2.28 a	2.10 ab	31.34
Estado 4	0	4.46 a	2.32 a	1.72 a	2.00 a	4.69 a	2.66 a	2.51 a	2.54 a	2.38 a	3.01 a	32.05
<b>DMS</b>		0.84										

Valores con diferente letra en cada columna para cada parámetro, son estadísticamente diferentes entre estados de madurez y tiempo de almacenamiento (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). CC= chino criollo, D.A.=Días de almacenamiento, CV=Coeficiente de variación y DMS=Diferencia mínima significativa.

### 2.4.2 Actividad antioxidante (AA)

#### Actividad antioxidante hidrofílica (AAH)

La actividad antioxidante es un parámetro que nos ayuda a conocer el beneficio a la salud de un producto alimenticio, ya que representa la actividad de inhibir el proceso de oxidación (Bhandari y Lee, 2016). Los frutos de tomate poseen propiedades antioxidantes por la presencia de compuestos liposolubles e hidrosolubles (Kuskoski *et al.*, 2005). La actividad antioxidante hidrofílica (AAH) está dada por compuestos fenólicos y ácido ascórbico (Kotíková *et al.*, 2011). Los genotipos que presentaron mayor AAH en los frutos cosechados en estado 4 fueron los del tipo cereza LOR88 y LOR52, seguidos del tipo OV LOR16, con valores de 4.74, 4.12 y 3.44  $\mu\text{M ET g}^{-1}$  pf, respectivamente (cuadro 4). Dichos valores son superiores a los reportados por Cano *et al.* (2003), quienes encontraron una AAH de 1.95 a 2.18  $\mu\text{M ET g}^{-1}$  pf durante la maduración de frutos de tomate y son similares a los reportados por Kaur *et al.* (2013) de 2.74 a 5.62  $\mu\text{M ET g}^{-1}$  pf en diez cultivares comerciales de tomate en estado rojo. Los frutos cosechados en estado 1 con 7 días de almacenamiento, alcanzaron valores similares a los de los frutos recién cosechados en estado 4, excepto el genotipo tipo CC LOR102 y tipo riñón LOR77 que presentaron menor AAH.

Se encontró una correlación significativa entre la AAH y el contenido de fenoles totales, en coincidencia con lo reportado por Toor *et al.* (2005), donde además de observarse la correlación entre estos dos parámetros, se observó que la parte hidrofílica es la que más contribuye a la actividad antioxidante de los frutos (Cuadro 5).

**Cuadro 4. Actividad antioxidante de genotipos nativos e híbridos de tomate en dos estados de madurez y almacenamiento.**

Genotipo\D.A	Hidrofílica (AAH) ( $\mu\text{M ET g}^{-1} \text{ pf}$ )			Lipofílica (AAL) ( $\mu\text{M ET g}^{-1} \text{ pf}$ )		
	Estado 1		Estado 4	Estado 1		Estado 4
	0	7	0	0	7	0
<b>Cereza</b>						
LOR52	3.10 c	4.83 a	4.12 b	0.44 c	1.12 a	0.94 b
LOR88	4.27 a	4.18 a	4.74 a	0.45 b	0.70 a	0.79 a
<b>Ojo de venado</b>						
LOR16	2.42 b	3.89 a	3.44 a	0.49 c	0.80 b	1.00 a
LOR118	3.53 a	3.31 a	3.25 a	0.52 b	0.79 a	0.66 ab
<b>CC</b>						
LOR102	1.64 b	1.73 b	3.45 a	0.55 b	0.68 b	0.92 a
<b>Riñón</b>						
LOR77	2.46 a	1.87 b	2.57 a	0.16 c	0.58 b	0.94 a
LOR82	1.83 b	2.28 a	2.77 a	0.41 b	0.80 a	0.65 b
LOR119	1.93 b	2.68 a	1.82 b	0.20 c	0.62 b	0.79 a
CP-HER	1.79 b	2.36 ab	2.54 a	0.32 c	0.90 b	1.12 a
<b>Saladette</b>						
CID-HC	2.45 a	1.35 b	1.68 b	0.32 c	0.65 b	0.92 a
<b>CV(%)</b>	9.41	11.68	7.51	16.52	8.77	11.02
<b>DMS</b>			0.72			0.20

Valores con diferente letra en cada fila, son estadísticamente diferentes entre estados de madurez y tiempo de almacenamiento de cada parámetro (Tukey,  $p \leq 0.05$ ). CC=chino criollo, D.A.=Días de almacenamiento, CV=Coefficiente de variación y DMS=Diferencia mínima significativa

## Actividad antioxidante lipofílica (AAL)

En relación a la actividad antioxidante lipofílica (AAL) los principales compuestos que contribuyen son los carotenoides y tocoferoles (Kotíková *et al.*, 2011). En el cuadro 4 se puede observar que los genotipos sobresalientes en AAL en frutos cosechados en estado 4 fueron el tipo OV LOR16 y el tipo riñón CP-HER, con valores de 1.12 y 1.00, respectivamente. En todos los genotipos cosechados en estado 1, se observó un incremento en la AAL después de 7 días de almacenamiento. Sin embargo, sólo los genotipos tipo cereza LO52 y LOR88, OV LOR118 y el tipo riñón LOR82 alcanzaron valores similares o mayores a los encontrados en los frutos recién cosechado en estado 4. Como se observa en el cuadro 5, la AAL presentó mayor correlación con el contenido de licopeno, lo cual indica que la AAL está dada principalmente por la acumulación de este carotenoide en los frutos durante el proceso de maduración. Cano *et al.* (2003) y Kotíková *et al.* (2011) reportaron que frutos de cultivares de tomate incrementaron la AAL de 0.33 a 0.88  $\mu\text{M ET g}^{-1}$  pf durante la maduración. Kaur *et al.* (2013) reportaron valores de 0.21 a 1.1  $\mu\text{M ET g}^{-1}$  pf en diez cultivares comerciales de tomate cosechados en estado rojo. Los genotipos de este estudio se encuentran dentro de los valores reportados por estos autores.

**Cuadro 5. Coeficientes de correlación de compuestos funcionales de genotipos nativos e híbridos de tomate.**

	AAH	Fenoles	Ascórbico	Licopeno	$\beta$ -caroteno	luteína
AAL	0.285	0.397	0.542*	0.784**	0.248	0.699*
AAH		0.917**	0.339	0.201	0.197	0.121
Fenoles			0.356	0.244	0.259	0.194
Ascórbico				0.405	-0.06	0.087
Licopeno					0.465*	0.836**
$\beta$ -caroteno						0.469*

AAL= actividad antioxidante lipofílica, AAH= actividad antioxidante hidrofílica.

\*\*estadísticamente significativo  $p < 0.001$ . \*estadísticamente significativo  $p < 0.05$ .

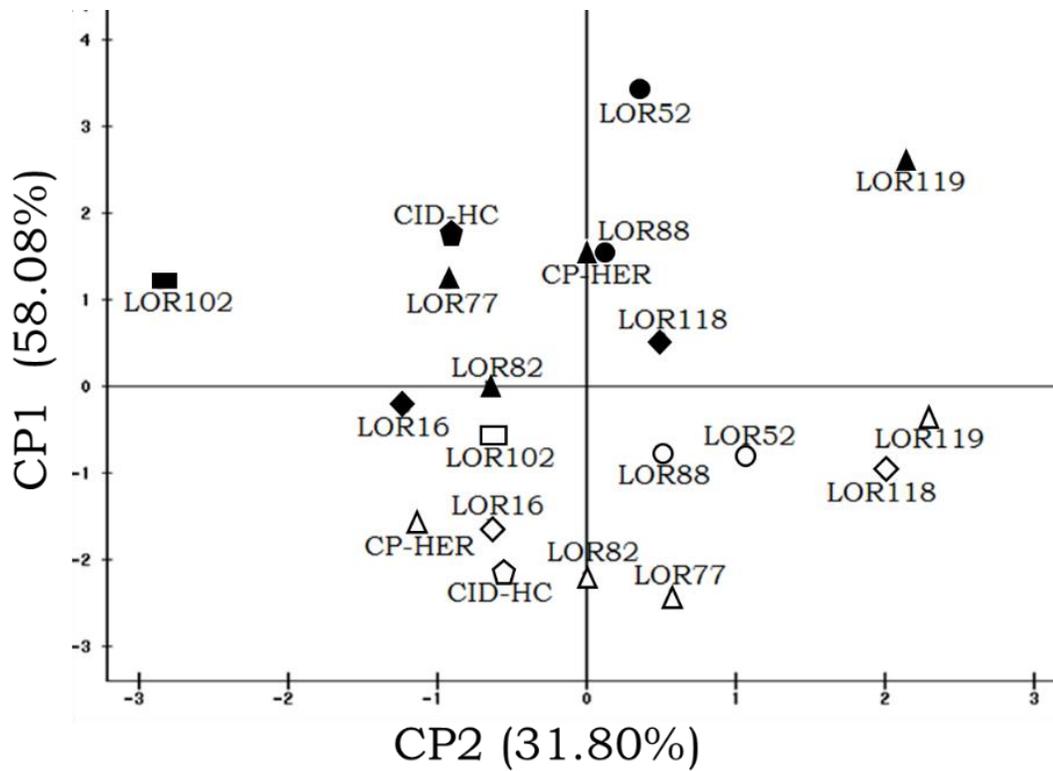
### 2.4.3 Componentes principales (compuestos funcionales y AA)

**Cuadro 6. Vectores de los componentes principales 1 y 2 de compuestos funcionales de genotipos nativos e híbridos de tomate.**

VARIABLES	CP1	CP2
AAL $\mu\text{M ET g}^{-1} \text{ pf}$	0.51101	-0.1888
AAH $\mu\text{M ET g}^{-1} \text{ pf}$	0.34467	0.61953
Fenoles totales ( $\mu\text{g EAG g}^{-1} \text{ pf}$ )	0.38488	0.57795
Licopeno ( $\mu\text{g g}^{-1} \text{ pf}$ )	0.50204	-0.3284
Luteína ( $\mu\text{g g}^{-1} \text{ pf}$ )	0.46893	-0.3724

CP=componente principal, AAL=actividad antioxidante lipofílica, AAH=actividad antioxidante hidrofílica.

El primer y segundo componente del análisis de componentes principales explican el 89.88% del total de variación de los datos. Las variables que contribuyeron más en el primer componente fueron AAL, licopeno y luteína, mientras que en el segundo fueron AAH y Fenoles (Cuadro 6). En este análisis se observó claramente la separación del estado 1 y 4 de maduración de los frutos. En estado 1 los genotipos se posicionan en el cuadrante 3 y 4 indicando menor actividad antioxidante lipofílica. En estado 4 los genotipos se posicionaron en los cuadrantes 1 y 2, lo que indica que tienen mayor AAL y mantuvieron la AAH con respecto al estado 1. Los frutos tipo riñón LOR119, OV LOR118 y cereza LOR52 y LOR88 obtuvieron los valores más altos de AAH y AAL (Figura 1). La variación se observó principalmente en la fase lipofílica, debido a las variaciones en la acumulación de carotenoides, mientras que en la fase hidrofílica los cambios fueron mínimos, ya que el contenido de fenoles no presentó grandes cambios.



**Figura 1. Análisis de los dos primeros componentes principales de compuestos funcionales de los frutos en estado 1 y 4 de genotipos nativos e híbridos. Símbolos: blancos=estado 1, negros=estado 4, triángulos=riñón, círculos=cereza, cuadros=chino criollo, rombos=ojo de venado, pentágono=híbrido comercial.**

## 2.5 CONCLUSIONES

En compuestos fenólicos, los genotipos sobresalientes por su mayor contenido en frutos cosechados en estado 4 y en estado 1 almacenados 7 días, son los del tipo cereza LOR88 y LOR52, ambos se encuentran en el intervalo de valores reportados en la literatura para esta variable. Mientras que, en contenido de ácido ascórbico sobresalen en frutos cosechados en estado 4 los genotipos CC LOR102 y el tipo riñón LOR119. Los frutos cosechados en estado 1 almacenados durante 7 días no alcanzaron el contenido de ácido ascórbico de los frutos cosechados en estado 4. En general, el contenido de carotenoides totales incrementó durante el almacenamiento, siendo el principal el licopeno. Los frutos de LOR52 cosechados en estado 4 sobresalen por su alto contenido de licopeno,  $\beta$ -caroteno y luteína. Es importante resaltar que el contenido más alto de licopeno se encontró en los frutos de LOR52 cosechados en estado 1 almacenados durante 7 días, con valores superiores a los reportados en la literatura.

En AAH no se observaron cambios significativos durante el almacenamiento, en comparación con la AAL que aumento. Se observó una correlación positiva entre la AAH y compuestos fenólicos ( $r = 0.91$ ,  $p < 0.001$ ), mientras que en AAL la mayor correlación positiva se dio con el contenido de licopeno ( $r = 0.78$ ,  $p < 0.001$ ).

Se encontraron genotipos nativos, con potencial para ser usados como fuente de germoplasma en programas de mejoramiento genético que ayuden a incrementar el contenido de antioxidantes (compuestos fenólicos y carotenoides) y contenido de vitamina C (LOR102) y proporcionar mayor calidad nutracéutica a los frutos de tomate.

## 2.6 LITERATURA CITADA

Anton D., D. Matt, P. Pedastsaar, I. Bender, R. Kazimierczak, M. Roasto, ... T. Püssa (2014) Three-year comparative study of polyphenol contents and antioxidant capacities in fruits of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars grown under organic and conventional conditions. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 62 (22): 5173-5180.

Bhandari S. R. y J. G. Lee (2016) Ripening-dependent changes in antioxidants, color attributes, and antioxidant activity of seven tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars. *Journal of analytical Methods in Chemistry* 2016: 1-13.

Bonilla-Barrientos O., R. Lobato-Ortiz, J. J. García-Zavala, S. Cruz-Izquierdo, D. Reyes-López, E. Hernández-Leal y A. Hernández-Bautista (2014) Diversidad agronómica y morfológica de tomates arriñonados y tipo pimiento de uso local en Puebla y Oaxaca, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37 (2): 129-139.

Bramley P. M. (2002) Regulation of carotenoid formation during tomato fruit ripening and development. *Journal of Experimental Botany* 53 (377): 2107-2113.

Cano A., M. Acosta y M. B. Arnao (2003) Hydrophilic and lipophilic antioxidant activity changes during on-vine ripening of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Postharvest Biology and Technology* 28 (1): 59-65.

Causse M., M. Buret, K. Robini y P. Verschave (2003) Inheritance of nutritional and sensory quality traits in fresh market tomato and relation to consumer preferences. *Journal of Food Science* 68: 2343-2350.

Ceballos-Aguirre N., F. A. Vallejo-Cabrera, y N. Arango-Arango (2012) Evaluation of antioxidant content in introductions of cherry tomato (*Solanum* spp.). *Acta Agronómica* 61 (3): 210-218.

Charles M. T., J. Arul, D. Charlebois, E. S. Yaganza, D. Rolland, D. Roussel y M. J. Merisier (2016) Postharvest UV-C treatment of tomato fruits: Changes in simple sugars and organic acids contents during storage. *LWT-Food Science and Technology* 65:557-564.

Di Matteo A., A. Sacco, M. Anacleria, M. Pezzotti, M. Delledonne, A. Ferrarini, y A. Barone (2010) The ascorbic acid content of tomato fruits is associated with the expression of genes involved in pectin degradation. *BMC Plant Biology* 10 (1): 163.

Di Paola Naranjo, R. D., S. Otaiza, A. C. Saragusti, V. Baroni, A. D. V. Carranza, I. E. Peralta, ... R. Asis, (2016) Hydrophilic antioxidants from Andean tomato landraces assessed by their bioactivities in vitro and in vivo. *Food chemistry* 206: 146-155.

Figàs M. R., J. Prohens, M. D. Raigón, A. Fita, M. D. García-Martínez, C. Casanova y S. Soler (2015) Characterization of composition traits related to organoleptic and functional quality for the differentiation, selection and enhancement of local varieties of tomato from different cultivar groups. *Food Chemistry* 187:517-524

George B., C. Kaur, D. S. Khurdiya y H. C. Kapoor (2004) Antioxidants in tomato (*Lycopersium esculentum*) as a function of genotype. *Food Chemistry* 84: (1): 45-51.

Giovannucci E. (1999) Tomatoes, tomato-based products, lycopene, and cancer: review of the epidemiologic literature. *Journal of the National Cancer Institute* 91(4): 317-331.

Gould, W. A. (1992) *Tomato Production, Processing and Technology*, 3rd ed.; CTI Publications: Baltimore, MD.

Hanson P. M., R. Y. Yang, J. Wu, J. T. Chen, D. Ledesma, S. C. Tsou y T. C. Lee (2004) Variation for antioxidant activity and antioxidants in tomato. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 129 (5): 704-711.

Ilahy R., C. Hdider, M. S. Lenucci, I. Tlili y G. Dalessandro (2011) Antioxidant activity and bioactive compound changes during fruit ripening of high-lycopene tomato cultivars. *Journal of Food Composition and Analysis* 24 (4): 588-595.

Kaur C., S. Walia, S. Nagal, S. Walia, J. Singh, B. B. Singh y S. Jaggi (2013) Functional quality and antioxidant composition of selected tomato (*Solanum lycopersicon* L.) cultivars grown in Northern India. *LWT-Food Science and Technology* 50 (1): 139-145.

Kotíková Z., J. Lachman, A. Hejtmánková y K. Hejtmánková (2011) Determination of antioxidant activity and antioxidant content in tomato varieties and evaluation of mutual interactions between antioxidants. *LWT-Food Science and Technology* 44 (8): 1703-1710.

Krzyzanowska J., A. Czubacka y W. Oleszek (2010) Chapter 7: Dietary phytochemicals and human health. *Bio-Farms for Nutraceuticals: Funcional Food and Safety Control by Biosensors*. pp. 75-97.

Kuskoski E. M., A. G. Asuero, A. M. Troncoso, J. Mancini-Filho y R. Fett, (2005) Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Food Science and Technology* 25 (4): 726-732.

Lenucci M. S., D. Cadinu, M. Taurino, G Piro y G. Dalessandro (2006) Antioxidant composition in cherry and high-pigment tomato cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54 (7): 2606-2613.

López-Vidal O., H. Escalona-Buendía, C. Pelayo-Zaldívar, J. Cruz-Salazar, J. M. Villa-Hernández, F. Rivera-Cabrera y F. D. de León-Sánchez, (2014) Carotenoides, capacidad antioxidante y volátiles del aroma durante la

maduración de jitomate. *International Journal of Experimental Botany* 8:185-192.

Luthria D. L., S. Mukhopadhyay, y D. T. Krizek (2006) Content of total phenolics and phenolic acids in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits as influenced by cultivar and solar UV radiation. *Journal of Food Composition and Analysis* 19 (8): 771-777.

Martínez-Valverde I., M. J. Periago, G. Provan y A. Chesson (2002) Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in commercial varieties of tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 82 (3): 323-330.

Nour V., I. Trandafir, y M. E. Ionica (2010). HPLC organic acid analysis in different citrus juices under reversed phase conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 38: 44.

Popescu S., F. Florina, A. Amalia, B. Despina, V. Ariana, V. Giancarla, ... B. Dorica (2013) Biochemical variability in several tomato varieties fruits. *Journal of Horticulture, Forestry and Biotechnology* 17 (2): 386-388.

Re R., N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang y C. Rice-Evans (1999) Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine* 26:1231-1237.

Siddiqui M. W., J. F. Ayala-Zavala y R. S. Dhua, (2015) Genotypic variation in tomatoes affecting processing and antioxidant attributes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 55 (13): 1819-1835.

Smita S., R. Rajwanshi, S. K. Lenka, A. Katiyar, V. Chinnusamy y K. C. Bansal (2013) Expression profile of genes coding for carotenoid biosynthetic pathway during ripening and their association with accumulation of lycopene in tomato fruits. *Journal of Genetics* 92 (3): 363-368.

Steiner A. A. (1966) The influence of the chemical composition of a nutrient solution on the production of tomato plants. *Plant and Soil* 24 (3): 454-466.

Toor R. K., C. E. Lister y G. P. Savage (2005) Antioxidant activities of New Zealand-grown tomatoes. *International Journal of Food Sciences and Nutrition* 56 (8): 597-605.

Vásquez-Ortiz R., J. C. Carrillo-Rodríguez y P. Ramírez-Vallejo (2010) Evaluación morfo-agronómica de una muestra del jitomate nativo del Centro y Sureste de México. *Naturaleza y Desarrollo* 8 (2): 49-64.

Zanfini A., G. Corbini, C. La Rosa y E. Dreassi (2010) Antioxidant activity of tomato lipophilic extracts and interactions between carotenoids and  $\alpha$ -tocopherol in synthetic mixtures. *LWT-Food Science and Technology* 43 (1): 67-72.

Zushi K. y N. Matsuzoe (2012) Comparative analysis of oxidative parameters, antioxidant content, and antioxidant enzyme activity during fruit ripening in tomato pericarp and pulp. *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 81 (1): 109-116.

## CONCLUSIONES GENERALES

Los genotipos tipo cereza LOR88 y OV fueron más precoces en alcanzar su máximo tamaño y madurez de consumo a los 59 y 66 ddf, respectivamente. Los frutos de los genotipos tipo riñón cosechados en el estado 4, tuvieron menor vida de anaquel que los de tipo cereza debido a su mayor susceptibilidad a enfermedades. Los frutos del genotipo CC LOR102 presentaron menor PP y mayor firmeza durante el almacenamiento; sin embargo, fueron más susceptibles a la incidencia de hongos. Algunos de los frutos de los genotipos estudiados (LOR77, LOR119, LOR102, CP-HER, LOR16 y LOR88) cosechados en estado 1, obtuvieron al final del almacenamiento, valores menores en algunos de los parámetros de calidad analizados (SST, azúcares, AT, TSI, IM), con respecto a los frutos cosechados en estado 4.

La AAL aumento durante el almacenamiento mientras que la AAH no presentó cambios significativos. Se observó una correlación positiva entre la AAH y el contenido de compuestos fenólicos ( $r = 0.91$ ,  $p < 0.001$ ) y entre la AAL y el contenido de licopeno ( $r = 0.78$ ,  $p < 0.001$ ).

Se encontraron genotipos nativos, con potencial para ser usados como fuente de germoplasma en programas de mejoramiento para incrementar el contenido de ácidos orgánicos (LOR88), azúcares (LOR77 y LOR119) contenido de antioxidantes como compuestos fenólicos y carotenoides (LOR52) y vitamina C (LOR102) para proporcionar mayor calidad sensorial y nutracéutica a los frutos de tomate.