



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
FISIOLOGÍA VEGETAL

EFFECTO DE LA REFRIGERACIÓN EN LA CALIDAD Y COMPUESTOS FUNCIONALES DE TRES GENOTIPOS DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum*)

JOANA NALLELY CRUZ SALAZAR

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

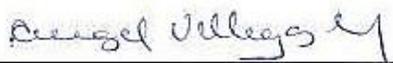
MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO

2015

La presente tesis, titulada: **Efecto de la refrigeración en la calidad y compuestos funcionales de tres genotipos de jitomate (*Solanum lycopersicum*)** realizada por el alumna Joana Nallely Cruz Salazar bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD
FISIOLOGÍA VEGETAL
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



Dr. Ángel Villegas Monter

DIRECTORA DE TESIS



Dra. Laura Josefina Pérez Flores

ASESOR



Dr. Fernando Díaz de León Sánchez

ASESOR



Dr. Héctor Bernardo Escalona Buendía

ASESOR



Dr. Juan Enrique Rodríguez Pérez

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Junio del 2015

RESUMEN GENERAL

EFFECTO DE LA REFRIGERACIÓN EN LA CALIDAD Y COMPUESTOS FUNCIONALES DE TRES GENOTIPOS DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum*).

Joana Nallely Cruz Salazar, MC

Colegio de Postgraduados, 2015

El jitomate (*Solanum lycopersicum*) es popular mundialmente, por el color atractivo, valor nutricional y versatilidad de uso; la calidad de los frutos depende de atributos externos (tamaño, forma, color, apariencia) e internos (aroma, sabor, textura). La selección de nuevas variedades en años recientes se ha basado en la calidad sensorial y compuestos funcionales. El objetivo de este trabajo es efectuar un estudio comparativo de la calidad postcosecha y preferencia de consumidores potenciales de frutos frescos de tres genotipos de jitomate, Híbrido Comercial (HC), Línea Experimental (LE) y Colecta Nativa (CN), en frutos recién cosechados y almacenados nueve días a 23 °C.; así como analizar el contenido de antioxidantes (licopeno, β -caroteno y vitamina C), capacidad antioxidante y daño a lípidos en frutos recién cosechados y efecto del almacenamiento a 10 °C y 23 °C. Los resultados indican que los frutos del HC fueron de mayor preferencia y considerados más frescos por los consumidores. Se asocian con los descriptores herbal, cítrico y dulce, presentaron menor AT, mayor relación SST/AT y firmeza y menor PP. Los frutos de LE no agradaron ni desagradaron, tuvieron menor frescura, presentaron valores intermedios de AT y SST/AT, firmeza elevada y mayor PP que los frutos del HC. Los frutos de CN, a una parte de los consumidores les agradaron y a otra les desagradaron, probablemente por tener aroma y sabor menos familiar; fueron los menos frescos, con mayor AT, menor SST/AT, PP similar a la de LE y menor firmeza, la cual afecta su potencial de comercialización como fruto fresco. Los niveles de licopeno en los frutos recién cosechados, no presentaron diferencias significativas entre genotipos, mientras que los niveles de β -caroteno y vitamina C fueron más altos en el HC. Durante el almacenamiento a 23 °C los niveles de licopeno y vitamina C son mayores, en tanto que los niveles de β -caroteno no presentaron diferencias significativas respecto a los

frutos recién cosechados. En los frutos almacenados a 10 °C, los niveles de licopeno y β -caroteno no presentaron diferencias significativas respecto a los frutos recién cosechados, con excepción de LE en que hubo aumento; por otra parte, los niveles de vitamina C aumentaron en CN y LE y disminuyeron en HC. Respecto a la capacidad antioxidante, en los frutos recién cosechados y almacenados por 9 días en refrigeración a 10 °C, no se observaron diferencias significativas entre los tres genotipos, en los frutos almacenados por 9 días a 23 °C se observó un aumento en CN. En relación al daño a lípidos medido por lipoperoxidación, no se observaron diferencias entre genotipos en frutos recién cosechados, ni por efecto del almacenamiento, tanto a 10 °C como a 23 °C. Se concluye que los frutos con mejores características de calidad, niveles de compuestos funcionales, frescura y preferencia de consumidores son los del HC.

PALABRAS CLAVES: Calidad postcosecha; Análisis sensorial; Aroma; Gusto; Frescura.

GENERAL ABSTRACT

EFFECT OF COOLING ON THE QUALITY AND FUNCTIONAL COMPOUNDS OF THREE TOMATO GENOTYPES (*Solanum lycopersicum*).

Joana Nallely Cruz Salazar, MC

Colegio de Postgraduados, 2015

The tomato (*Solanum lycopersicum*) is a world-wide popular fruit due to its attractive color, nutritional value, and versatility of use; fruit quality is determined by both external (size, form, color, appearance) and internal (aroma, flavor, texture) attributes. In recent years, sensory qualities and functional compounds have become increasingly relevant in the selection of new varieties. The objective of the present work was to perform a comparative study on the postharvest quality and consumer preference of three tomato fruit genotypes: commercial hybrid (CH), experimental line (EL), and native selection (NS), as evaluated in both freshly harvested fruit and in tomatoes stored for 9 days at 23 °C, as well as an analysis of the antioxidant content (lycopene, β -carotene, and vitamin C), capacity, and extent of lipid damage, in freshly harvested fruits together with the effects of storage at 10 °C and 23 °C in these parameters.

Results showed that CH fruits were the most preferred and considered to be fresher by consumers. They were associated to herbal, citric, and sweet descriptors, presented a lower TA and WL, and had a higher TSS/TA ratio. EL fruits on the other hand, were neither liked nor disliked by consumers, were perceived as being less fresh, had intermediate values of TA and TSS/TA, a relatively high firmness, and a higher WL than CH fruits. Lastly, while some consumers liked NS fruits, others disliked them, – probably due to a less familiar aroma and flavor. They were perceived as being the least fresh, presented a higher TA and a lower TSS/TA ratio, had a similar WL to EL fruits, and had lower firmness values – the latter affecting its potential to be commercialized as fresh fruit.

When comparing the levels of lycopene in freshly harvested fruits, no significant differences were observed among the three genotypes, whereas the levels of β -carotene and vitamin C were higher in CH fruits. During storage at 23 °C the levels of lycopene and vitamin C increased, while the levels of β -carotene showed no significant differences from those of freshly harvested fruits. Likewise, there were no significant differences in the lycopene and β -carotene levels of fruits stored at 10 °C from those present in freshly harvested produce with the exception of EL fruits, which did present an increase in both of these compounds. Furthermore, the levels of vitamin C increased in both NS and EL genotypes, while they decreased in CH fruits.

No differences among genotypes were observed in the antioxidant capacity of fresh fruits and fruits stored for 9 days at 10 °C, whereas an increase was observed in NS fruits stored for 9 days at 23 °C. Likewise, no differences existed among the genotypes in terms of lipid damage as measured by the level of lipoperoxidation of membranes, either in freshly harvested fruits or in those stored at 10 °C or 23 °C. It is therefore concluded that CH fruits have the best quality characteristics, levels of functional compounds, freshness, and consumer preference, compared with the other two genotypes evaluated.

KEYWORDS: Postharvest quality; Sensory analysis; Freshness; Functional compounds; Cold storage.

AGRADECIMIENTOS

Al financiamiento de la UAM, del PROMEP (34775) a la Red de Cuerpos Académicos Ciencia y Tecnología Pre y Postcosecha. Se agradece a Conacyt por la beca 485794 otorgada a Joana Nallely Cruz Salazar para realizar sus estudios de Maestría en Recursos Genéticos y Productividad - Fisiología Vegetal.

Al Colegio de Postgraduados y a la Universidad Autónoma Metropolitana mis dos casas de estudio que me brindaron la oportunidad de crecer y desarrollarme como profesionista, pero sobre todo porque lograron hacer de mí una mejor persona. A las personas integrantes de mi Consejo Particular por el esfuerzo, la dedicación, el tiempo y el apoyo que me han brindado, pero sobre todo por la infinita paciencia para conmigo y mis problemas.

A la Dra. Laura Josefina Pérez Flores y a su esposo el Senior Coach Marcelo Lehmann, por ser unos segundos padres durante este camino, por ser los amigos y los seres humanos que me ayudaron a conocer el lado lindo de la vida y a valorar lo que soy. Se los agradezco de corazón. Al Dr. Ángel Villegas Monter por cobijarme en el Colegio de Postgraduados, por aquellos lindos momentos de convivencia, pero sobre todo por sus valiosos consejos y enseñanzas.

A mis amigos de la UAM y COLPOS Juan Manuel, Rayn, Denise, Xóchitl, Omar, Carolina, Yoali, Laurita, Pepe Toño, Móni, Esthercita, César, Orlando, Víctor, Yépes por su apoyo en las jornadas de trabajo, por su amistad y por los momentos compartidos los quiero mucho. A todos aquellos que por falta de espacio y memoria no están incluidos.

DEDICATORIA

Dedico esta tesis con mucho cariño a mis dos más grandes amores, a mi esposo Julio Cesar Mata López y a mi hermoso hijo Jeyden Rodrigo Mata Cruz.

Amor agradezco todo tu apoyo, cariño y comprensión durante esta etapa, es un placer poder compartir contigo cada uno de mis triunfos, gracias por mantener en mí el deseo de seguir adelante, por compartir conmigo las desveladas y preocupaciones de no entregar algo a tiempo. Eres lo mejor que me ha pasado en la vida, te amo con todo mi corazón, gracias por existir y ser mi esposo.

Y a ti mi niño hermoso que te puedo decir, eres lo más maravilloso que me ha pasado en la vida, fuiste la fuerza que me hacía y hace levantarme cada mañana y llegar siempre a cualquier lugar con una sonrisa. Gracias pequeño, porque a pesar de tu corta edad me has enseñado un sinfín de cosas y has sido paciente cuando mamá tenía que trabajar. Te amo mucho pequeño. No puedo prometerte que voy a estar por el resto de tu vida...pero si voy a prometerte cuidarte, amarte y estar cuando más me necesites el resto de mi vida.

Agradezco a mis padres y hermana todo el amor y apoyo incondicional brindado en mi vida, por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo del triunfo. Agradezco todos sus consejos y por estar siempre al pendiente de mí.

CONTENIDO

| | |
|---|----|
| I INTRODUCCIÓN GENERAL | 1 |
| 1.1 Planteamiento del problema..... | 1 |
| 1.2. Objetivos..... | 2 |
| 1.3 Hipótesis..... | 3 |
| | |
| II REVISIÓN DE LITERATURA | 4 |
| 2.1 Importancia del jitomate..... | 4 |
| 2.2 Características del jitomate..... | 5 |
| 2.3 Composición química de los frutos..... | 5 |
| 2.4 Maduración del jitomate..... | 6 |
| 2.5 Parámetros de calidad del jitomate..... | 8 |
| 2.6 Análisis sensorial..... | 9 |
| 2.7 Antioxidantes y capacidad antioxidante..... | 10 |
| 2.8 Compuestos funcionales..... | 11 |
| 2.9 Mejoramiento genético del jitomate..... | 12 |
| 2.10 Almacenamiento de frutas y hortalizas..... | 13 |
| 2.11 Almacenamiento refrigerado de jitomate..... | 16 |
| 2.12 Literatura citada..... | 16 |
| | |
| CAPÍTULO III “CALIDAD POSTCOSECHA Y PREFERENCIA DE CONSUMIDORES DE TRES GENOTIPOS DE JITOMATE (<i>Solanum lycopersicum</i>)” | 21 |
| | |
| CAPÍTULO IV “ANTIOXIDANTES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE TRES GENOTIPOS DE JITOMATE (<i>Solanum lycopersicum</i>)” | 43 |
| | |
| V CONCLUSIONES GENERALES | 62 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Página |
|---|--------|
| FIGURA 1. Frutos de jitomate de tres genotipos. A) Híbrido Comercial tipo Uno (HC), B) Línea Experimental (LE) procedente del programa de mejoramiento genético de la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH) y C) Colecta Nativa (CN) proveniente del estado de Chiapas, México..... | 2 |
| FIGURA 2. Métodos más utilizados para la conservación de alimentos..... | 15 |
| FIGURA III. 1. Efecto del almacenamiento en la acidez titulable, sólidos solubles totales y firmeza en los tres genotipos de jitomate. A) SST en frutos recién cosechados, B) SST en frutos almacenados a 23°C por 9 días, C) AT en frutos recién cosechados, D) AT en frutos almacenados a 23°C por 9 días, E) firmeza en frutos recién cosechados y F) firmeza en frutos almacenados a 23°C por 9 días. Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas por tiempo de almacenamiento para cada genotipo Tukey-Kramer ($p < 0.05$)..... | 33 |
| FIGURA III. 2. Efecto del almacenamiento en la pérdida de peso de los tres genotipos de jitomate almacenados a 23°C. Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas por tiempo de almacenamiento para cada genotipo Tukey-Kramer ($p < 0.05$)..... | 34 |
| FIGURA III. 3. Análisis de correspondencias del aroma en A) Frutos sin partir. La dimensión 1 explica el 72.5% y la dimensión 2 24.3% de la variabilidad y B) Frutos partidos. La dimensión 1 explica el 62.1% y la dimensión 2 31.8% de la variabilidad... | 36 |
| FIGURA III. 4. Evaluación de la frescura de los frutos por los consumidores (porcentaje). A) Frutos sin partir y B) Frutos partidos. 5=Mucho más de lo que esperaba, 4=Un poco más de lo que esperaba, 3=Justo lo que esperaba, 2=Un poco menos de lo que esperaba, 1=Mucho menos de lo que esperaba..... | 37 |
| FIGURA III. 5. Evaluación del agrado general de los frutos por los consumidores (porcentaje). 7=Extremadamente agradable, 6=Medianamente agradable, 5=Ligeramente agradable, 4=Ni me agrada /ni me desagrada, 3=Ligeramente desagradable, 2=Medianamente desagradable, 1=Extremadamente desagradable... | 39 |

FIGURA IV. 1. Efecto del genotipo y del tiempo de almacenamiento a 23 °C y 10 °C en el contenido de carotenoides. A) Comparación del contenido de licopeno entre genotipos a 0 días, 9 días de almacenamiento a 23 °C y 10 °C, B) Comparación del contenido de licopeno por efecto del almacenamiento en cada genotipo, C) Comparación del contenido de β-caroteno entre genotipos a 0 días, 9 días de almacenamiento a 23 °C y 10 °C y D) Comparación del contenido de β-caroteno por efecto del almacenamiento en cada genotipo. Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre genotipos (1A y 1C) y por efecto del almacenamiento en cada genotipo (1B y 1D). Tukey-Kramer ($p < 0.05$).....54

FIGURA IV. 2. Efecto del genotipo y del tiempo de almacenamiento a 23 °C y 10 °C en el contenido de ácido L-ascórbico. A) Comparación del contenido de ácido L-ascórbico entre genotipos a 0 días, 9 días de almacenamiento a 23 °C y 10 °C y B) Comparación del contenido de ácido L-ascórbico por efecto del almacenamiento en cada genotipo. Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre genotipos (2A) y por efecto del almacenamiento en cada genotipo (2B). Tukey-Kramer ($p < 0.05$).....56

FIGURA IV. 3. Efecto del genotipo y del tiempo de almacenamiento a 23 °C y 10 °C en la capacidad antioxidante. A) Comparación de la capacidad antioxidante entre genotipos a 0 días, 9 días de almacenamiento a 23 °C y 10 °C, determinada por el método ABTS, B) Comparación de la capacidad antioxidante por efecto del almacenamiento en cada genotipo, determinada por el método ABTS. C) Comparación de la capacidad antioxidante entre genotipos a 0 días, 9 días de almacenamiento a 23 °C y 10 °C, determinada por el método DPPH y D) Comparación de la capacidad antioxidante por efecto del almacenamiento en cada genotipo, determinada por el método DPPH. Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre genotipos (3A Y 3C) y por efecto del almacenamiento en cada genotipo (3B y 3D). Tukey-Kramer ($p < 0.05$).....57

FIGURA IV. 4. Efecto del genotipo y del tiempo de almacenamiento a 23 °C y 10 °C en la lipoperoxidación de membranas (LPO). A) Comparación de la LPO entre genotipos a 0 días, 9 días de almacenamiento a 23 °C y 10 °C y B) Comparación de la LPO por efecto del almacenamiento en cada genotipo. Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre genotipos (4A) y por efecto del almacenamiento en cada genotipo (4B). Tukey-Kramer ($p < 0.05$).....58

ÍNDICE DE TABLAS

| | Página |
|---|---------------|
| TABLA 1. Algunos componentes funcionales de frutas y hortalizas..... | 12 |
| TABLA III. 1. Análisis físico-químico de los tres genotipos de jitomate. Se comparan los resultados a los 9 días de almacenamiento a 23 °C con respecto a los 0 días de almacenamiento para cada genotipo..... | 32 |

I INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 Planteamiento del problema

Cada vez las expectativas de vida del ser humano son mayores y esto ha llevado a preocuparse por tener mejor salud y bienestar en la etapa de envejecimiento. Por lo anterior, en la actualidad existe mayor tendencia de consumir alimentos funcionales como frutas y hortalizas frescas, que aparte de aportar los nutrientes necesarios para el buen funcionamiento metabólico, contengan compuestos funcionales que ayuden a mejorar el estado de salud y bienestar de la persona, reduciendo el riesgo de contraer enfermedades crónico degenerativas.

El mejoramiento de frutas se ha enfocado principalmente en aumentar rendimiento, resistencia a enfermedades y transporte, así como mejorar las características físicas externas y retrasar maduración. Así los objetivos de los programas de mejoramiento se han modificado en las últimas décadas, de acuerdo a las siguientes tendencias: en los años 1970's fue mejorar rendimiento; en los años 1980's aumentar la vida de anaquel. Es desde los 1990's a la fecha, que se han incluido atributos de calidad como el sabor debido a las quejas de los consumidores de la ausencia de sabor en los cultivares de jitomate actuales. Recientemente se ha incorporado aumentar la calidad nutricional y los niveles de compuestos funcionales.

Por lo anterior, surge la necesidad de analizar la calidad postcosecha, el sabor y preferencia de consumidores, así como los niveles de compuestos funcionales de colectas nativas y nuevas líneas experimentales y estudiar su comportamiento durante el almacenamiento refrigerado y a temperatura ambiente.

En este trabajo se estudiaron tres genotipos de jitomate: Híbrido Comercial (HC), Línea Experimental (LE) procedente del programa de mejoramiento genético de la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH) a cargo del Dr. Juan Enrique Rodríguez Pérez y una Colecta Nativa (CN) proveniente del estado de Chiapas, México.



Figura.1. Frutos de jitomate de tres genotipos estudiados. A) Híbrido Comercial tipo Uno (HC), B) Colecta Nativa (CN) y C) Línea Experimental (LE).

1.2 Objetivos

General

Efectuar un estudio comparativo de la calidad postcosecha, compuestos funcionales, preferencia de consumidores potenciales de frutos frescos y el efecto del almacenamiento refrigerado en tres genotipos de jitomate, Híbrido Comercial (tipo Uno) (HC), Línea Experimental (LE) y Colecta Nativa (CN) del estado de Chiapas.

Particulares

1. Evaluar los parámetros de calidad (PP, AT, SST, Firmeza), de los frutos de los genotipos estudiados recién cosechados y almacenados a 23 °C.
2. Evaluar el nivel de aceptación de consumidores potenciales de los frutos de los genotipos estudiados recién cosechados y almacenados a 23 °C.
3. Evaluar los niveles de compuestos funcionales (carotenoides, vitamina C), capacidad antioxidante y lipoperoxidación en frutos de los genotipos estudiados recién cosechados y almacenados a 23 °C o 10 °C.

1.3 Hipótesis

EL CN del estado de Chiapas tendrá mayores niveles de compuestos funcionales y capacidad antioxidante en comparación con los otros genotipos, ya que al no tener manejo agronómico, está sometida continuamente a distintos tipos de estrés y por ello probablemente tenga mayores niveles de antioxidantes.

El almacenamiento refrigerado afectará la calidad y compuestos funcionales de los tres genotipos de jitomate estudiados.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia del jitomate

El jitomate (*Solanum lycopersicum*) es una hortaliza popular en todo el mundo. Es la segunda hortaliza de mayor producción y consumo después de la papa. Tiene color atractivo, alto valor nutricional debido a su elevado consumo, así como aroma y sabor agradables. El fruto tiene versatilidad de uso, ya que se puede consumir fresco o procesado, solo o como ingrediente de diversos alimentos y bebidas (Rick, 1978; Hobson y Grierson, 1993; Causse *et al.*, 2003; Causse *et al.*, 2010). El jitomate pertenece a la familia de las solanáceas, la cual incluye más de 3000 especies, entre ellas papa, chile, berenjena, tabaco, mandrágora, belladona y plantas de ornato como petunia (Peralta *et al.*, 2006).

La FAO reporta que el volumen de producción de jitomate a nivel mundial se ha incrementado significativamente hasta 26% entre 2000-2008 (FAOSTAT, 2011). El aumento de la producción se atribuye a la introducción de nuevas variedades, además de la adopción de mejores prácticas culturales, uso de fertilizantes, manejo del riego, control de plagas y agricultura protegida (Grandillo *et al.*, 1999). Los principales países productores son China (48, 450,000 T), India (16, 826, 000 T) Estados Unidos (12, 526, 000 T), Turquía (11, 003, 433 T) y Egipto (8,105, 263 T). En 2011 México ocupó el lugar número 11 con 2, 435, 788 T (FAOSTAT, 2013).

Entre los principales países exportadores de jitomate en fresco se encuentran Italia, China, España y México. El principal mercado para nuestro país es Estados Unidos de Norteamérica. El jitomate ocupa el tercer lugar en productos exportados en nuestro país por lo cual, es una importante fuente de ingresos. El estado de Sinaloa contribuye con alrededor de 40% de la producción total, seguido por Baja California Norte, San Luís Potosí y Michoacán (SAGARPA, 2014).

Las evidencias sugieren que el jitomate es originario de la región andina que hoy comparten Chile, Colombia, Ecuador, Bolivia y Perú, ya que ahí se encuentran todas las especies silvestres (Rick y Fobes, 1975; Bai y Lindhout 2007). De ahí se

distribuyó por varias regiones de América hasta llegar a México, que se sugiere como uno de sus centros de domesticación, aunque no hay pruebas definitivas (Peralta *et al.*, 2006). El término jitomate proviene de la palabra náhuatl xitomatl, su nombre, así como los reportes de los cronistas españoles de venta en el gran mercado de Tenochtitlán y su consumo en la dieta de los indígenas. Las evidencias lingüísticas, arqueológicas, etnobotánicas, así como variabilidad apoyan la propuesta de que el jitomate se domesticó en México. El jitomate se llevó a España a fines del siglo XV, distribuyéndose al resto de Europa y del mundo. Inicialmente, no fue aceptado en Europa por atribuírsele propiedades similares a las de otras solanáceas, (belladona y mandrágora). Hasta el siglo XVIII se incorporó a la dieta europea y los agricultores italianos contribuyeron a su mejoramiento convirtiéndolo en el fruto de color rojo intenso y jugoso que conocemos (Long, 2001; Rick, 1978; 1979; Rick y Fobes, 1979; Yilmaz, 2001).

2.2 Características del jitomate

El jitomate se produce en diversas regiones del mundo, desde los trópicos hasta el ártico. Por su capacidad de adaptación puede sobrevivir tanto en ambientes extremadamente secos, como en ambientes muy húmedos; en altitudes desde el nivel del mar hasta 3300 m en zonas montañosas. Sin embargo, se adapta mejor a ambientes cálidos, con buena iluminación y drenaje. Es, además, relativamente tolerante a la salinidad (Foolad, 2007). El fruto es una baya suave de entre 5 y 6 cm de diámetro. Por lo común, tienen forma redondeada o elipsoidal. La mayoría de los cultivares producen frutos rojos, pero algunos son color amarillo, púrpura y rayados (Rick, 1978).

2.3 Composición química de los frutos

Los frutos de jitomate maduros tienen en promedio de 92.5 a 95 % de contenido de agua, con 5 a 7.5 % de materia seca. Los azúcares predominantes en los frutos son glucosa y fructosa, con niveles insignificantes de sacarosa. Entre los polisacáridos, más abundantes se encuentran pectinas, arabinogalactanos, xilanos, arabinoxilanos. Los niveles de almidón elevados en el jitomate inmaduro, disminuyen durante la

maduración. El ácido predominante es el cítrico, seguido por málico, fórmico y acético, su contenido es relevante principalmente en la industria del procesamiento. De los aminoácidos el más abundante es el glutámico seguido del aspártico. Del contenido en vitaminas destacan la B1, B2, B5, C y E (Hobson y Davies 1980).

El fruto de jitomate es rico en carotenoides como el licopeno, pigmento que da al fruto el color rojo característico y al igual que la vitamina C y E, tienen carácter antioxidante. (Yilmaz, 2001). Aunque el fruto de jitomate no tiene elevado valor nutricional y en promedio un fruto de 135 g aporta 25 calorías, debido al elevado volumen consumido en la dieta, contribuye significativamente al aporte de vitaminas, minerales y antioxidantes, siendo en ocasiones la principal fuente de vitaminas A, C, minerales como el magnesio y antioxidantes como licopeno (Foolad, 2007; Meléndez-Martínez et al., 2010). Por lo que el jitomate se considera un alimento funcional, como fuente de antioxidantes, siendo el licopeno la molécula que ha recibido mayor interés (George *et al.*, 2004).

La composición química y niveles de antioxidantes de los frutos de jitomate varía en función del genotipo, etapa de maduración, época de cosecha, ubicación geográfica del cultivo, factores ambientales, así como las condiciones de almacenamiento poscosecha (Abushita *et al.*, 1997; George *et al.*, 2004).

En años recientes, se ha enfatizado la importancia del licopeno en la salud humana, en particular en la prevención de ciertos tipos de cáncer, especialmente el de próstata y de enfermedades crónico degenerativas (Giovannucci 2005; Bramley, 2000; Ellinger *et al.*, 2006).

2. 4 Maduración del jitomate

El jitomate, se ha seleccionado para satisfacer las preferencias y necesidades humanas, aunque desde el punto de vista biológico, los frutos carnosos y su maduración evolucionaron para atraer a los organismos dispersores de las semillas. El fruto es climatérico, cuya maduración se induce por el aumento en los niveles de etileno y presenta un pico respiratorio. El fruto de jitomate se ha usado como modelo

del proceso de maduración de frutos carnosos. En 2012 se terminó la secuenciación del genoma del jitomate (The tomato genome consortium) (Gómez *et al.*, 2014; Rambla *et al.*, 2014).

La maduración del fruto de jitomate es un proceso complejo, altamente coordinado y genéticamente programado en el que ocurren una serie de cambios que hacen al fruto más apetecible. Este proceso se inicia cuando las semillas han completado su desarrollo (Klee y Giovannoni, 2011; Gómez *et al.*, 2014).

La maduración se acompaña por cambios físicos y químicos en el color, textura, sabor (gusto y aroma) y características nutricionales. Estos cambios incluyen modificación del color, los cloroplastos se transforman en cromoplastos, la clorofila se degrada y se acumulan carotenoides como el licopeno. Se producen cambios en la textura, con el ablandamiento de los frutos (que ocurre por modificación de las paredes celulares por acción de enzimas como la pectinmetilesterasa, poligalacturonasa, entre otras. Se desarrolla el sabor (gusto y aroma) característico del fruto (Alexander y Grierson, 2002; White, 2002). Se altera el balance azúcar-ácido y se produce el aroma característico del jitomate que resulta de interacciones complejas entre ácidos orgánicos, azúcares solubles y cerca de 400 compuestos volátiles, aproximadamente 20 a 30 de ellos se consideran de impacto por su participación en el desarrollo del aroma del fruto maduro (Sanz *et al.*, 1997; Baldwin *et al.*, 2000). Tieman y colaboradores (2012), en un estudio de metabolómica analizaron la variación en azúcares, ácidos y volátiles del aroma en jitomate y concluyeron que algunos de los volátiles más abundantes no contribuyen a la aceptación por los consumidores, mientras que otros menos abundantes si lo hacen. Estos autores también mostraron que algunos volátiles del aroma contribuyen a la percepción de dulzura, independientemente de la concentración de azúcares.

En el proceso de maduración, el etileno induce la expresión de genes involucrados en los cambios antes mencionados. Se ha logrado retrasar la maduración en plantas transgénicas, en las que se ha inhibido la producción de etileno o de enzimas que participan en el ablandamiento (Hamilton *et al.*, 1990; Smith *et al.*, 1990). Se ha

reportado en la maduración también participan factores de transcripción, descubiertos en las mutantes con maduración alterada *rin*, *nor* y *cnr* (Klee y Giovannoni, 2011; Cherian *et al.*, 2014; Gómez *et al.*, 2014). Recientemente se ha propuesto que la respiración a través de la oxidasa alternativa produce el pico climatérico (Xu *et al.*, 2012) y se ha demostrado la importancia de la regulación epigenética (Zhong *et al.*, 2013).

2. 5 Parámetros de calidad del jitomate

La calidad se define como la combinación de atributos, propiedades o cualidades que caracterizan a un producto y determinan el valor para el consumidor, con base en la satisfacción de sus necesidades.

La calidad integral de un fruto maduro como el jitomate está dada por diversos atributos, para consumo en fresco se ha basado tradicionalmente en la apariencia y características físicas externas (color, tamaño, firmeza y ausencia de defectos en la superficie).

Los parámetros de calidad que comúnmente se evalúan son:

- **Color.** Característica externa más visible del fruto, es importante para determinar la madurez (López y Gómez, 2004). El color debe ser uniforme (anaranjado-rojo a rojo intenso) sin partes verdes. (Suslow y Cantwell, 2006).
- **Firmeza.** El jitomate de buena calidad debe tener firmeza y succulencia óptimas, este parámetro es importante en el potencial de comercialización del fruto. Algunos consumidores se quejan de una firmeza elevada en las variedades comerciales actuales (Causse *et al.*, 2002).
- **Concentración de sólidos solubles totales.** Compuestos solubles presentes en el extracto de frutos; en jitomate los principales componentes son azúcares (glucosa y fructosa) que constituyen cerca del 65% de la materia seca (Ruiz *et al.*, 2005), el restante 35% está compuesto de ácidos orgánicos (cítrico y málico), aminoácidos, lípidos y minerales (Gómez y Camelo, 2002). Los azúcares intervienen en el sabor contribuyendo a la dulzura del fruto. El contenido de agua en frutos maduros

afecta los sólidos solubles (Martínez-Barajas, 2003).

- Acidez titulable. Se utiliza para determinar los niveles de ácidos orgánicos libres; se mide neutralizando muestras de extractos de frutas con una base fuerte. Los ácidos orgánicos son importantes por su efecto en el sabor y en los procesos de industrialización (Anthon *et al.*, 2011). La acidez del jitomate tiene un fuerte componente genético ya que está determinado por la variedad (Nuez, 2001).
- Relación de la concentración de sólidos solubles totales/ Acidez titulable. Se ha utilizado la relación SST/acidez titulable para evaluar el sabor de los frutos, mediante este cociente se pueden establecer diferencias en distintos cultivares de jitomate (Gómez y Camelo, 2002). Este cociente también se ha usado como índice de madurez, utilizado como indicador de impacto en sabor. (Hernández *et al.*, 2007).

Otro parámetro importante es la inocuidad, que se refiere a la necesidad de que los productos hortofrutícolas, como el jitomate, lleguen a los consumidores libres de contaminación física, química y microbiológica, ya que tales contaminantes pueden provocar daños a la salud.

En años recientes se le ha dado importancia a atributos de calidad como sabor, la percepción conjunta del gusto y aroma, valor nutricional y contenido de compuestos funcionales, como los antioxidantes. En la actualidad cada vez es más frecuente el número de consumidores que exigen productos hortofrutícolas con mayor calidad de sabor, por lo que es importante realizar la evaluación sensorial de los frutos (Baldwin *et al.*, 2000).

2. 6 Análisis sensorial

La evaluación sensorial consiste en la medición, cuantificación e interpretación de las características sensoriales de los alimentos, mediante el uso de personas que actúan como jueces o consumidores que establecen sus preferencias. Se emplea en diversos alimentos, entre ellos los frutos. Se evalúan parámetros de calidad, como apariencia física, sabor (aroma y gusto) y textura de un producto en particular (Heintz y Kader, 1983; Ibáñez y Barcina, 2001). El análisis sensorial es una forma eficiente

de describir las propiedades de calidad internas de los productos y analizar las preferencias de los consumidores (Causse *et al.*, 2010).

Mientras que las pruebas fisicoquímicas proporcionan información acerca de la composición del producto, la evaluación sensorial permite analizar en forma integral diversos parámetros que influyen en la calidad. Además, se pueden identificar relaciones entre las propiedades fisicoquímicas y calidad sensorial y determinar el impacto en la calidad sensorial de variables como la temperatura (Heintz y Kader, 1983; Piggott *et al.*, 1998).

Las pruebas sensoriales afectivas se emplean para definir el grado de aceptación y preferencia de un producto determinado por parte de los consumidores. Para estas pruebas se requiere de un grupo de panelistas, los cuales no necesariamente tienen que ser entrenados. Se presentan al panelista (consumidor potencial), muestras codificadas y se le pide indicar ¿cuál de las muestras prefiere?. Para que sea más representativo se le puede pedir que exponga las razones sobre la decisión tomada. En caso de evaluar más de dos productos se pide a cada consumidor que ordene las muestras, en función de parámetros como el nivel de agrado de mayor a menor, de fresca, entre otros (Piggott *et al.*, 1998).

2. 7 Antioxidantes y capacidad antioxidante

Las plantas, así como otros organismos aerobios, usan el oxígeno como aceptor de electrones en la cadena respiratoria mitocondrial y produce energía en forma más eficiente. Sin embargo, como subproductos del metabolismo aerobio se forman en distintos compartimentos celulares especies reactivas de oxígeno (ERO) tales como el anión superóxido ($O_2^{\cdot-}$), el peróxido de hidrógeno (H_2O_2), el radical hidroxilo OH^{\cdot} ó el oxígeno singulete 1O_2 (Vranova *et al.*, 2002).

El término “antioxidante” se refiere a aquellos compuestos que son capaces de estabilizar o desactivar a las ERO antes de que éstas ataquen algunas biomoléculas en la célula.

Los organismos aerobios han desarrollado sistemas antioxidantes altamente complejos (enzimáticos y no enzimáticos) los cuales trabajan sinérgicamente para proteger a las células del daño de estas especies. Entre los sistemas enzimáticos se encuentran las enzimas superóxido dismutasa, catalasa y las enzimas del ciclo ascorbato-glutación (Chew *et al.*, 2003).

Se ha reportado que diversas moléculas antioxidantes de bajo peso molecular tales como el ácido ascórbico, glutación, tocoferoles, carotenoides y compuestos fenólicos pueden proteger a los tejidos de las plantas de efectos dañinos de las ERO (Blokina *et al.*, 2003; Matamoros *et al.*, 2010).

En los frutos de jitomate, la cantidad de moléculas antioxidantes puede ser afectada por la época de cosecha, factores ambientales, tratamientos durante el cultivo, condiciones de almacenamiento, así como el estado de maduración en el cual se encuentra el fruto (Abushita *et al.*, 1997).

En los humanos son muy importantes los antioxidantes que provienen de la dieta, principalmente de frutas y hortalizas, a éstos se les conoce como antioxidantes exógenos y son importantes en condiciones de estrés oxidante en las células.

2. 8 Compuestos funcionales

Un alimento puede ser considerado como funcional cuando aporta 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 2003; Vega y León 2002) mencionan que un alimento funcional es un producto común semejante en apariencia física a los alimentos convencionales, que se consume como parte de una dieta diaria, aporta nutrimentos y sustancias funcionales capaces de producir efectos metabólicos o fisiológicos, para el mantener buena salud física y mental y auxiliar en la reducción del riesgo de adquirir enfermedades crónicas y degenerativas.

Los componentes funcionales de las frutas y hortalizas se pueden clasificar en varias categorías, estas se pueden observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Algunos componentes funcionales de frutas y hortalizas.

| COMPONENTE FUNCIONAL | FUENTE |
|---|---|
| Fibra dietaria | Todas las frutas y hortalizas |
| Antioxidantes <i>Vitamina C</i> <i>Vitamina E</i> <i>Carotenoides</i> licopeno β -caroteno <i>Fitosteroles</i> | Todas las frutas y hortalizas Aceites de origen vegetal Jitomate, sandía Frutas y hortalizas amarillas y anaranjadas Aceites de origen vegetal |
| Compuestos Organosulfurados | Hortalizas del género <i>Allium</i> : ajo, cebolla. Hortalizas del género <i>Cruciferae</i> : brócoli, col, coliflor, etc |
| Ácidos grasos poli-insaturados Acido α linoleico | Aceites de origen vegetal, nueces, aguacate y aceitunas |

2. 9 Mejoramiento genético del jitomate

El mejoramiento se ha enfocado principalmente en aumentar rendimiento, resistencia a enfermedades y al transporte, así como a mejorar las características físicas externas y retrasar maduración. Así los objetivos de los programas de mejoramiento han ido variando en las últimas décadas, de acuerdo a las siguientes tendencias: en los años 1970's fue mejorar rendimiento; en los años 1980's aumentar vida de anaquel. Es hasta años recientes que se han incluido atributos ocultos de calidad como mejorar el sabor desde los años 1990's y recientemente se ha incorporado aumentar la calidad nutricional y los niveles de compuestos funcionales (Bai y Lindhout, 2007).

Las quejas de los consumidores respecto al sabor de los jitomates (Baldwin *et al.*, 2000) se debe a que los frutos se cosechan inmaduros y al manejo postcosecha (Klee y Tieman, 2013).

Además de la complejidad y naturaleza multigénica de los factores que determinan el gusto, el mejoramiento de la calidad sensorial del jitomate es problemático por la carencia de criterios de selección y porque hay variaciones regionales y culturales en las preferencias de los consumidores (Wright *et al.*, 2001; Zanon *et al.*, 2009; Piombino *et al.*, 2013).

Una limitante en el mejoramiento del jitomate es la disminución de la variación genética de los cultivares modernos (Bai y Lindhout, 2007). México como centro de diversidad y domesticación tiene diversidad de jitomates. Se aprovechan las formas silvestres, formas con algún grado de domesticación y formas cultivadas que incluyen amplio rango que va desde los jitomates nativos hasta las variedades comerciales. Estas poblaciones son trascendentales por la riqueza genética que poseen y que puede ser usada para ampliar la base genética y características particulares de interés de los jitomates cultivados (Lobato Ortiz *et al.*, 2012).

2.10 Almacenamiento de frutas y hortalizas

Una de las principales metas de la investigación postcosecha es mantener la calidad, inocuidad y minimizar las pérdidas de los cultivos hortofrutícolas. La conservación de alimentos, en su contexto más amplio se puede definir como la aplicación de tecnologías encargadas de prolongar la vida útil y disponibilidad de los alimentos para el consumo humano y animal, protegiéndolos de microorganismos patógenos y otros agentes responsables de su deterioro, y así permitir su consumo. La conservación de alimentos utiliza mecanismos tradicionales, así como nuevas tecnologías, el objetivo principal es preservar el sabor, nutrientes, textura, entre otros aspectos (Aguilar 2012).

Por su composición química, física y sus características fisiológicas, los productos hortofrutícolas frescos pierden fácilmente su calidad si se mantienen en condiciones ambientales, los nutrientes y compuestos funcionales, experimentan cambios químicos durante el almacenamiento, provocando efectos negativos, disminuyendo los nutrientes, causando su deterioro y senescencia.

Las pérdidas postcosecha de frutas y hortalizas se encuentran entre 28 y 42% de los volúmenes producidos en el mundo. Este porcentaje de pérdida, se debe a que los productos no cumplen las normas de calidad establecidas para su comercialización. El mayor deterioro de productos hortofrutícolas se produce durante las etapas de almacenamiento y comercialización y esto sucede debido principalmente al mal manejo postcosecha y a enfermedades (Gustavssoon *et al.*, 2011).

Existen también criterios para seleccionar el método de conservación más adecuado, para ello es importante considerar que el método que se utilice, garantice la máxima capacidad de conservación del alimento, es decir que la vida útil sea prolongada al máximo posible. Otro factor primordial, es lograr cambios mínimos en las características sensoriales y nutricionales de los alimentos, para tener un producto de óptima calidad, sin olvidar analizar la inversión requerida.

Aunque existen múltiples técnicas para la conservación de alimentos (Figura. 2), la acción de la temperatura en los constituyentes de los alimentos, es una de las más importantes y más utilizadas en la preservación de la mayoría de los alimentos.



Figura 2. Métodos más utilizados para la conservación de alimentos.

La refrigeración es un método de conservación a corto plazo, permite mantener a los productos en niveles bajos de temperatura y retrasa la proliferación de microorganismos. Es importante el estricto control de la temperatura y humedad, lo aceptable es entre 1°C a 2°C, de lo contrario se afecta la calidad del producto. El almacenamiento en refrigeración con humedad relativa apropiada disminuye el metabolismo y permite preservar durante más tiempo la calidad comercial de los productos altamente perecederos (Aguilar 2012).

2. 10 Almacenamiento refrigerado de jitomate

Se ha reportado que el jitomate tiene diferentes temperaturas óptimas de almacenamiento, dependiendo del estado de madurez, para conservar durante más tiempo textura y color. Los frutos de color rojo claro se deben almacenar preferentemente entre 10-12.5 °C. Por su parte, para el jitomate maduro firme se recomienda entre 7-10 °C, rango en el que la vida de anaquel puede alcanzar de 8 a 10 días (Suslow y Cantwell, 2006). Temperaturas inferiores a las recomendadas inducen la fisiopatía denominada daño por frío (DPF), que en jitomate se caracteriza como maduración heterogénea, picado superficial, reducción del aroma y mayor susceptibilidad al ataque de hongos (Suslow y Cantwell, 2006; Maul *et al.*, 2000).

Existen pocos estudios acerca del efecto del almacenamiento refrigerado en la calidad sensorial del jitomate. Se ha reportado que afecta los niveles de volátiles y los cambios observados dependen de la variedad, temperatura de almacenamiento y del tiempo de exposición (Maul *et al.*, 2000).

Díaz de León y colaboradores (2009) reportaron el efecto del almacenamiento refrigerado en la calidad sensorial del jitomate, encontraron que en los frutos almacenados a 10 °C se producían alteraciones en algunos volátiles del aroma en particular, en el balance aldehídos / alcoholes debidos al parecer al efecto de la refrigeración en la enzima alcohol deshidrogenasa. Estos cambios en el perfil químico del aroma fueron percibidos por un panel de jueces entrenados (Díaz de León *et al.*, 2009).

2.11 Literatura citada

- Abushita A., Hebshi E., Daood A. & Biacs H.(1997). Determination of antioxidant vitamins in tomatoes. *Food Chemistry* 60: 207-212.
- Aguilar, M. (2012) Métodos de conservación de alimentos. 1^{er} ed. Red tercer milenio. (pp. 48-112). Edo. Méx
- Alexander L. & Grierson D. (2002). Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climateric fruit ripening. *Journal of Experimental Botany* 53: 2039-2055.
- Anthon G., Le Strange M. & Barrett D. (2011). Changes in pH, acids, sugars and other quality parameters during extended vine holding of ripe processing tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91: 1175-1181.

- Bai Y. & Lindhout P. (2007). Domestication and breeding of tomatoes: What have we gained and what can we gain in the future? *Annals of Botany* 100: 1085–1094.
- Baldwin E., Scott J., Shewmaker C. & Schuch W. (2000). Flavor trivia and tomato aroma: biochemistry and possible mechanisms for control of important aroma components. *HortScience* 35: 1013-1021.
- Blokhina, O., Virolainen, E. & Fagersted, K. (2003). Antioxidants, oxidative damage and oxygen deprivation stress. A review. *Annals of Botany* 91: 179-194.
- Bramley P. (2000). Is lycopene beneficial to human health?. *Phytochemistry* 54: 233-236.
- Causse M., Buret M., Robini K. & Verschave P. (2003). Inheritance of nutritional and sensory quality traits in fresh market tomato and relation to consumer preferences. *Journal of Food Science* 68: 2343-2350.
- Causse, M., Friguet, C., Coiret, C., Lépiciér, M., Navez, B., Lee, M., Holthuysen, N., Sinesio, F., Moneta, E. & Grandillo, S. (2010). Consumer preferences for fresh tomato at the European scale: a common segmentation on taste and firmness. *Journal Food Science* 75, S531-S541.
- Causse M., Saliba-Colombani V., Lecomte L, Duffe P., Rousselle P. y Buret M. (2002). QTL analysis of fruit quality in fresh market tomato: a few chromosome regions control the variation of sensory and instrumental traits. *Journal of Experimental Botany* 53: 2089-2098.
- Cherian, S., Figueroa, C.R., Nair, H. (2014). “Movers and shakers” in the regulation of fruit ripening: a cross-dissection of climacteric versus non-climacteric fruit. *Journal of Experimental Botany* 65: 4705-4722.
- Díaz de León–Sánchez F, C Pelayo–Zaldívarb, F Rivera–Cabrera, M Ponce–Valadeza, X Ávila–Alejandrea & F J Fernández (2009). Effect of refrigerated storage on aroma and alcohol dehydrogenase activity in tomato fruit. *Postharvest Biology and Technology* 54:93–100
- Ellinger S., Ellinger J. & Stehle P. (2006). Tomatoes, tomato products and lycopene in the prevention of a prostate cancer: do we have the evidence from intervention. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care* 9: 722-727.
- FAOSTAT. (2011) Food and Agriculture Organization of the United Nations. Consultado 28-03-2015 en: http://faostat3.fao.org/browse/rankings/countries_by_commodity/S
- FAOSTAT. (2013) Food and Agriculture Organization of the United Nations Consultado 28-03-2015 en <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/S>
- Foolad, R. M. (2007). Genome mapping and molecular breeding of tomato. *International Journal of Plant Genomics* 2007: 64358.
- George, B., Kaur, C., Khurdiya, D. S. & Kapoor, H. C. (2004). Antioxidants in tomato (*Lycopersium esculentum*) as a function of genotype. *Food chemistry* 84(1), 45-51.

- Giovanucci E. (2005). Tomato products, lycopene, and prostate cancer: a review of the epidemiological literature. *The Journal of Nutrition* 135: 2030S-2031S.
- Grandillo S., Ku H. & Tanksley S. (1999). Identifying the loci responsible for natural variation in fruit size and shape in tomato. *Theoretical and Applied Genetics* 99: 978-987.
- Gómez, M.D., Vera-Sirera, F. & Pérez-Amador, M.A. (2014). Molecular programme of senescence in dry and fleshy fruits. *Journal of Experimental Botany* 65: 4515-4526.
- Gómez P. y Camelo A. (2002). Calidad postcosecha de tomates almacenados en atmósferas controladas. *Horticultura Brasileira* 20: 38-43.
- Gustavssoon, J., C. Cederberg, U. Sonesson, R. van Otterdijk & A. Meybeck. (2011) Global Food Losses and Food waste. FAO. Rome. www.fao.org/fileadmin/user_upload/ags/publications/GFL_web.pdf
- Hamilton, A.J., Lycett, G.W. & Grierson, D. (1990). Antisense gene that inhibits synthesis of the hormone ethylene in transgenic plants. *Nature* 346: 284-287.
- Heintz C. & Kader A. (1983). Procedures for the sensory evaluation of horticultural crops. *HortScience* 18: 18-22.
- Hernández S., Rodríguez E. & Díaz R. (2007). Chemical composition of tomato (*Lycopersicon esculentum*) from Tenerife, the Canary Islands. *Food Science and Nutrition* 106:1046-1056.
- Hobson G. & Grierson D. (1993). Tomato. In Seymour. Biochemistry of fruit ripening. *Chapman and Hall Publishing*. London. 405-442.
- Hobson, G. & Davies, J.N. (1980). The tomato. In Hulme, A.C. (ed.), The biochemistry of fruits and their products. Vol. 2. Academic Press. London, pp 437-482.
- Ibañez M. & Barcina, A. (2001). Análisis sensorial de alimentos. Métodos y aplicaciones. Springer-Verlag Ibérica, Barcelona, España.
- Klee, H.J. & Giovannoni, J.J. (2011). Genetics and Control of Tomato Fruit Ripening and Quality Attributes. *Annual Review of Genetics* 45: 41-59.
- Klee, H.J., & Tieman, D. (2013). Genetic challenges of flavor improvement in tomato. *Trends in Genetics* 29: 257-262.
- Lobato Ortiz, R., Rodríguez Guzmán, E., Carrillo Rodríguez, J.C., Chávez Servia, J.L., Sánchez Peña, P. & Aguilar Meléndez, A. (2012) Exploración, colecta y conservación de recursos genéticos de jitomate: avances en la Red de Jitomate. Grupo Publicitario Imagen Digital. Texcoco, Estado de México México.
- Long, J. (2001). Una semblanza de las solanaceae. *Etnobiología* 1: 18-24.
- López C. & Gómez P. (2004). Comparison of color indexes for tomato ripening. *Horticultura Brasileira* 22: 534-537

- Martínez-Barajas, E. (2003). Análisis de la acumulación de azúcares en pericarpios de dos genotipos silvestres de jitomate (*Lycopersicon esculentum*). 37(4) UNAM. Depto. de Bioquímica.
- Matamoros, A., Loscos, J., Karl-Josef, D., Pedro, M., Tejo, A & Becana. M. (2010) Function of antioxidant enzymes and metabolites during maturation of pea fruits. *Journal of Experimental Botany*. 61: 87-97.
- Maul, F., Sargent, S.A., Sims, C.A., Baldwin, E.A., Balaban, M.O. & Huber, D.J.(2000). Tomato flavor and aroma quality as affected by storage temperature. *Journal of Food Science* 65, 1228-1237.
- Meléndez-Martínez A.J., Fraser P.D. & Bramley P.M. (2010). Accumulation of health promoting phytochemicals in wild relatives of tomato. *Phytochemistry* 71:1104–1114.
- Nuez, F. (2001). El cultivo de jitomate. Mundi- Prensa.793 pp.
- Pelayo C. (2003). Las Frutas y Hortalizas como Alimentos Funcionales. *ContactoS* 47, 12-19.
- Peralta I., Knapp S. & Spooner D. (2006). Nomenclature for wild and cultivated tomatoes. *Tomato Genetics Cooperative Report*. 56: 6-12.
- Piggott J., Simpson S. & Williams S. (1998). Sensory analysis. *International Journal of Food Science and Technology* 33: 7-18.
- Piombino, P., F. Sinesio, E. Moneta, M. Cammareri, A. Genovese, M.T. Lisanti y S. Grandillo (2013). Investigating physicochemical, volatile and sensory parameters playing a positive or a negative role on tomato liking. *Food Research International* 50: 409-419.
- Rambla, J.L., Tikunov, Y.M., Monforte, A.J. Bovy, A.G. & Granell, A. (2014). The expanded tomato fruit volatile landscape. *Journal of Experimental Botany* 65: 4613-4623.
- Rick, Ch.M. 1978. El tomate. *Investigación y Ciencia*. 25: 44-55.
- Rick, C. M. & J. Fobes. (1975). Allozyme variation in cultivated tomato and closely related species. *Bulletin of the Torrey Botanical Club* 102: 376-384.
- Rick, C. M. (1979). Biosystematic studies in *Lycopersicon* and Closely Related Species of *Solanum*. In: Hawkes, J., G. Lester and A. D. Skelding (Eds). *The biology and taxonomy of the Solanaceae*, Linnean. Society of London, London, U. K. pp: 667-677.
- Ruiz J., Arancha A., García-Martínez S., Valero M., Blasco P. & Ruiz-Bevia F. (2005). Quantitative analysis of flavour volatiles detects differences among closely related traditional cultivars of tomato. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 85: 54-60.
- SAGARPA. (2014) Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Consultado 28-03-2015 en <http://sagarpa.gob.mx/delegaciones/Jalisco/boletines/Paginas/B0322012.aspx>

- Sanz, C., Olias, J.M. & Perez, A.G. (1997). Aroma biochemistry of fruits and vegetables. In: Barberan Tomas, F.A., Robins, R.J. (Eds.), *Phytochemistry of Fruits and Vegetables. Proceedings of Phytochemical Society of Europe*, vol. 41. Clarendon Press, Oxford, pp. 125–155.
- Smith, C.J.S., Watson, C.F., Morris, P.C., Bird, C.R., Seymour, G.B., Gray, J.E., Arnold, C., Tucker, G.A., Schuch, W., Harding, S. & Grierson, D. (1990). Inheritance and effects on ripening of antisense polygalacturonase genes in transgenic tomatoes. *Plant Molecular Biology* 14: 369-379.
- Suslow T. & Cantwell M. (2006). *Tomato Recommendations for Maintaining Postharvest Quality*. Postharvest Technology Research and Information Center University of California, Davis, CA 95616.
<http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Veg/tomato.shtml>
- Tieman, D., Bliss, P., McIntyre, L.M., Blandon-Ubeda, A., Bies, D., Odabasi, A.Z., Rodríguez, G.R., van der Knaap, E., Taylor, M.G., Goulet, C., Mageroy, M.H., Snyder, D.J., Colquhoun, T., Moskowitz, H., Clark, D.G., Sims, C., Bartoshuk, L. & Klee, H.J. (2012). The chemical interactions underlying tomato flavor preferences. *Current Biology* 22: 1035-1039.
- Vega y León, S., Vega y Rojo A., Pérez F. N. A. y Coronado, H. M. (2002). Alimentos e ingredientes funcionales. *Industria Alimentaria* 24(1), 13-18,
- Vranova, E., Dirk, I. & Breusagem, V. (2002). Signal transduction during oxidative stress. *Journal of Experimental Botany* 53: 1227-1236.
- White P. (2002). Recent advances in fruit development and ripening: an overview. *Journal of Experimental Botany* 53: 1995-2000.
- Wright, L., Nancarrow, C., Kwok, P.M.H. (2001). Food taste preferences and cultural influence on consumption. *British Food Journal* 103: 348-357.
- Xu, F., Yuan, S., Zhang, D-W., Lv, X. & Lin, H-H. (2012). The role of alternative oxidase in tomato fruit ripening and its regulatory interaction with ethylene. *Journal of Experimental Botany* 63: 5705-5716.
- Yilmaz E. (2001). The chemistry of fresh tomato flavor. *Turkish Journal of Agriculturae and Forestry* 25: 149-155.
- Zanor, M.I., Rambla, J.L., Chaib, J., Steppa, A., Medina, A., Granell, A., Fernie, A.R., Causse, M. (2009). Metabolic characterization of loci affecting sensory attributes in tomato allows an assessment of the influence of the levels of primary metabolites and volatile organic contents. *Journal of Experimental Botany* 60: 2139-2154.
- Zhong, S., Fei, Z., Chen, Y-R., Zheng, Y., Huang, M., Vrebalov, J., McQuinn, R., Gapper, N., Liu, B., Xiang, J., Shao, Y. & Giovannoni, J.J. (2013). Single-base resolution methylomes of tomato fruit development reveal epigenome modifications associated with ripening. *Nature Biotechnology* 31: 154-159.

**CAPÍTULO III. CALIDAD POSTCOSECHA Y PREFERENCIA DE
CONSUMIDORES DE TRES GENOTIPOS DE JITOMATE (*Solanum
lycopersicum*).**

**POSTHARVEST QUALITY AND CONSUMER'S PREFERENCE OF THREE
TOMATO (*Solanum lycopersicum*) GENOTYPES.**

Joana Nallely Cruz-Salazar^{1,2}, Juliana Osorio-Córdoba³, Clara Pelayo-Zaldivar³, Juan Manuel Villa-Hernández², Fernando Díaz de León-Sánchez², Ángel Villegas-Monter⁴, Juan Enrique Rodríguez-Pérez⁵, Héctor Escalona-Buendía³, Laura Josefina Pérez-Flores^{2*}

¹Maestría en Recursos Genéticos y Productividad-Fisiología Vegetal Colegio de Posgraduados. Campus Montecillo Km 36.5 Carretera México-Texcoco. CP 56230 Montecillo, Estado de México. ²Depto. de Ciencias de la Salud, ³Depto. de Biotecnología, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. Av. San Rafael Atlixco 186, Col. Vicentina. CP 09340 México D.F. ⁴Programa de Fruticultura, Colegio de Posgraduados. Campus Montecillo Km 36.5 Carretera México-Texcoco. CP 56230 Montecillo, Estado de México. ⁵Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México-Texcoco. CP 56230 Chapingo, Estado de México.

RESUMEN

El jitomate (*Solanum lycopersicum*) es una hortaliza popular mundialmente, por su color atractivo, valor nutricional y versatilidad de uso; la calidad de los frutos depende de atributos externos (tamaño, forma, color, apariencia) e internos (aroma, sabor, textura). La selección de nuevas variedades se ha basado tradicionalmente en atributos externos, aunque en años recientes se ha dado relevancia a la calidad sensorial. El objetivo de este trabajo es efectuar un estudio comparativo de la calidad postcosecha y preferencia de consumidores potenciales de frutos frescos de tres genotipos de jitomate, Híbrido Comercial (HC), Línea Experimental (LE) y Colecta Nativa (CN), en frutos recién cosechados y almacenados nueve días a 23 °C. Los resultados indican que los frutos del HC tuvieron mayor preferencia y se consideraron más frescos por los consumidores. Se asocian con los descriptores herbal, cítrico y dulce, presentaron menor AT, mayor relación SST/AT y firmeza y menor PP. Los frutos del LE no agradaron ni desagradaron, tuvieron menor frescura que HC, presentaron valores intermedios de AT y de SST/AT, firmeza elevada y mayor PP que los frutos del HC, mientras que, los del CN, a una parte de los consumidores les agradaron y a otra les desagradaron, probablemente por tener aroma y sabor menos familiar; fueron los menos frescos, con mayor AT, menor SST/AT, PP similar a la de LE y menor firmeza, la cual afecta su potencial de comercialización como fruto fresco. Los descriptores alcohol-solvente, medicinales y humo se asociaron a menor frescura.

PALABRAS CLAVES: Calidad postcosecha; Análisis sensorial; Aroma; Gusto; Frescura.

ABSTRACT

Tomato (*Solanum lycopersicum*) is world-wide popular due to its attractive color, its nutritional value and the versatility of its use, Fruit quality is determined by external (size, form, color, appearance) and internal (aroma, flavor, texture) attributes. Selection of new varieties has been traditionally based on external attributes; however, in recent years sensory quality has become relevant. The objective of the present work was to perform a comparative study on postharvest quality and consumer's preference of three tomato fruit genotypes: commercial hybrid (CH), experimental line (EL), native selection (NS) in freshly harvested fruit and tomatoes stored for 9 days at 23 °C. Results showed that CH fruits were more preferred and considered fresher by consumers. These fruits were associated to herbal, citric and sweet descriptors, presented a lower titratable acidity (TA) and weight loss (WL) and a higher total soluble solids (TSS)/TA ratio compared to the other genotypes. EL fruits were neither liked nor disliked by the consumers, were perceived as less fresh than CH fruits and had intermediate values of TA and TSS/TA, high firmness and higher WL than CH fruits. Some consumers liked NS fruits while other disliked them; probably due to a less familiar aroma and flavor; they were perceived as the least fresh, presented a higher TA, lower TSS/TA, similar WL to EL fruit and lower firmness which affects its potential to be commercialized as fresh fruit. Alcohol-solvent, medicinal and smoke were descriptors associated to less freshness.

KEYWORDS: Postharvest Quality; Sensory analysis; Aroma; Taste; Freshness.

INTRODUCCIÓN

El jitomate (*Solanum lycopersicum*) es una hortaliza popular en todo el mundo, debido a su color atractivo, valor nutricional, aroma y versatilidad de uso. El fruto se puede consumir fresco o procesado como ingrediente de diversos alimentos y bebidas. El jitomate tiene bajo contenido energético, es benéfico para la salud del ser humano, debido a su aporte nutricional; contiene potasio y magnesio y es también una fuente importante de antioxidantes y vitaminas (A,C y E) (Yilmaz 2001; Causse *et al.*, 2003; Meléndez-Martínez *et al.*, 2010).

La FAO reporta que el volumen de producción de jitomate a escala mundial se ha incrementado significativamente en los últimos años (FAOSTAT 2011). El aumento en la producción se atribuye a la introducción de nuevas variedades y al mejoramiento de otras; además de la adopción de mejores prácticas culturales, uso de fertilizantes, así como manejo del riego y control de plagas (Grandillo *et al.*, 1999). México ocupa el décimo lugar entre los productores mundiales y se encuentra entre los tres primeros exportadores de jitomate en fresco en el mundo (FAOSTAT, 2013; SAGARPA, 2014).

La calidad de los frutos de jitomate frescos está determinada por atributos externos (tamaño, forma, color, apariencia) e internos (aroma, sabor, textura). El mejoramiento tradicional ha hecho la selección de nuevas variedades basándose principalmente en la resistencia a enfermedades, rendimiento, características externas de los frutos, que su maduración sea lenta y resistencia a daños mecánicos durante el transporte. Sin embargo, los atributos sensoriales tales como aroma y sabor no han sido parte de esta selección, hasta años recientes, en que los consumidores se han quejado a menudo del gusto de los jitomates frescos (Baldwin *et al.*, 2000). Por lo que, es importante evaluar las características sensoriales y la aceptación por consumidores de colectas nativas y nuevas líneas experimentales recién generadas en programas de mejoramiento.

El sabor (gusto y aroma) característico de un fruto de jitomate fresco es el resultado de interacciones complejas entre ácidos orgánicos, azúcares solubles y cerca de 400

compuestos volátiles del aroma que se sintetizan durante la maduración del fruto (Baldwin *et al.*, 2000). Los azúcares, ácidos y sus interacciones son importantes para la dulzura, acidez e intensidad integral del gusto en los frutos de jitomate (Beckles 2012). Debido a que los ácidos influyen en la percepción de la dulzura, un indicador útil del sabor del jitomate es la relación de sólidos solubles totales – acidez titulable SST/AT (Tandon *et al.*, 2003; Baldwin *et al.*, 2008; Beckles 2012). También se ha reportado que la adición de algunos volátiles, en niveles encontrados en la naturaleza, puede modificar los descriptores del gusto (Vogel *et al.*, 2010; Tieman *et al.*, 2012). Además de la complejidad de los factores químicos que determinan el gusto del jitomate, el mejoramiento de la calidad sensorial es problemático debido a que hay variaciones regionales y culturales en la preferencia de los frutos de jitomate por los consumidores (Piombino *et al.*, 2013).

En la actualidad existe la tendencia de consumir frutas y hortalizas frescas, que aparte de aportar nutrientes, tengan calidad sensorial óptima. El objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad postcosecha y preferencia de consumidores potenciales de frutos frescos de tres genotipos de jitomate, Híbrido Comercial tipo Uno, Línea Experimental y Colecta Nativa, con el propósito de seleccionar genotipos sobresalientes para usarse en programas de mejoramiento y en la industria de frutos frescos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó con frutos de jitomate de tres genotipos, Híbrido Comercial tipo Uno (HC), Línea Experimental (LE) procedente del programa de mejoramiento genético de la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH) y Colecta Nativa (CN) proveniente del estado de Chiapas, México. Los tres genotipos se establecieron en condiciones de invernadero en sustrato de arena volcánica (tezontle) y solución nutritiva, conducidos a un tallo, en la región de Huichapan, Hidalgo. Los frutos se cosecharon en septiembre, en estado de madurez rojo claro, de acuerdo a la escala de color (U.S.D.A. 1981). Los frutos se seleccionaron por uniformidad de color, libres de

daños mecánicos, defectos físicos, plagas y enfermedades y se transportaron a la UAM-Iztapalapa el mismo día de la cosecha.

DISEÑO DEL EXPERIMENTO Y TRATAMIENTOS

El diseño experimental fue en bloques al azar, en que los bloques fueron los genotipos analizados y el factor tiempo de almacenamiento con los niveles 0 y 9 días. Los frutos de cada genotipo se dividieron en dos grupos de once frutos cada uno. En el primer grupo se hizo el análisis de los frutos recién cosechados (0 días de almacenamiento). El otro grupo fue almacenado durante 9 días a 23 °C con 85 ± 2 % de humedad relativa. Se usaron tres repeticiones experimentales constituidas por grupos de 4, 4 y 3 frutos. A los frutos se les eliminaron las semillas, se cortaron en pequeños fragmentos, se mezclaron a homogeneidad y procesaron inmediatamente para obtener muestras de pulpa y jugo. El jugo se extrajo de 7.5 g de pulpa con procesador de alimentos Oster (Stick mixer with mixing cup 2609) y filtró con manta de cielo. Las muestras de pulpa y jugo se pesaron, congelaron en nitrógeno líquido y almacenaron a -70 °C en ultracongelador (REVCO modelo ULT 1386-7-A14) hasta que se realizaron las determinaciones de sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT) y firmeza.

DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD

Sólidos solubles totales (SST)

Se midió el contenido de SST en muestras del jugo con la ayuda de un refractómetro manual (Atago Co. Ltd, Tokyo, Japan), previamente calibrado con agua destilada y los resultados se expresaron en porcentaje.

Acidez titulable (AT)

Para cuantificar la AT se tomaron 5 g del jugo de los frutos en matraz erlenmeyer y agregaron 20 mL de agua destilada. Se colocaron 3 gotas de fenolftaleína y tituló con NaOH 0.1 N hasta que obtuvo color rosa. La AT se expresó en porcentaje de ácido cítrico que es el ácido predominante en frutos de jitomate.

Relación SST/AT

Para obtener el cociente SST/AT se dividió el porcentaje de sólidos solubles totales (SST), entre el porcentaje de acidez titulable (AT) obtenidos previamente.

Pérdida de peso (PP)

Para este parámetro se utilizó una muestra independiente a la antes mencionada de nueve frutos de cada genotipo de jitomate, se dividieron aleatoriamente en tres repeticiones de tres frutos cada una. Los frutos se pesaron en balanza granataria digital con precisión de 0.1 g (OHAUS, GT4100, Florham Park, N. J. USA). a los 0, 2, 4, 6, 8, 9 y 10 días de almacenamiento a 23 °C y 85 ± 2 % de humedad relativa. La pérdida de peso se expresó en porcentaje, de acuerdo a la siguiente formula:

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

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

A cada fruto se le eliminó una pequeña porción de la epidermis y aplicó presión con un punzón de 7 mm de diámetro con penetrómetro (Effe-Gi, Milán, Italia). Se cuantificó la fuerza en Newtons (N) necesaria para que el punzón penetre el exo y mesocarpio.

Prueba de preferencia de consumidores

La prueba de preferencia de consumidores se realizó con frutos independientes de las determinaciones de SST, AT, firmeza y pérdida de peso. Se llevó a cabo un ensayo preliminar para identificar los descriptores del análisis usados en este estudio, para lo cual se le dió al panel de consumidores una lista de descriptores basada en estudios previos realizados por nuestro grupo de trabajo (Díaz de León *et al.*, 2009) y se les pidió que indicaran las características del jitomate ideal. Para

realizar la prueba de preferencia de consumidores se cosecharon y seleccionaron 123 frutos de jitomate por grado de madurez (verde) y ausencia de defectos. Los frutos fueron transportados inmediatamente después de cosechados a la UAM-Iztapalapa, en donde se almacenaron a 23 °C, hasta que alcanzaron madurez de consumo (estado rojo). Los frutos fueron desinfectados con solución de hipoclorito de sodio 100 ppm, se dejaron secar al ambiente y colocaron en recipientes de unicel con tapa, un fruto por cada recipiente, las muestras se dejaron reposar aproximadamente 30 minutos antes de ser evaluados por los consumidores. Se encuestaron a 41 consumidores potenciales de la comunidad universitaria con edades de 19 a 59 años.

En el cuestionario, se solicitó a los consumidores que olieran los frutos enteros y partidos, que los degustaran e identificaran los atributos percibidos del listado de descriptores generados en el estudio preliminar; marcando aquellos que estuvieran presentes. Adicionalmente, que indicaran de los descriptores presentados, aquellos que desearían encontrar en su producto ideal (Ares *et al.*, 2014).

Posteriormente, les preguntamos ¿qué tan fresco les parecía cada fruto?, y por último, que de manera general indicaran ¿qué tanto les había agradado cada fruto?. En esta sección utilizaron dos escalas: para la frescura la escala “justo como lo esperaba” (Just about right-JAR) de 5 puntos, con las categorías: 5=mucho más de lo que esperaba, 4=un poco más de lo que esperaba, 3=justo lo que esperaba, 2=un poco menos de lo que esperaba y 1=mucho menos de lo que esperaba; y para la prueba de agrado general, se usó escala hedónica de 7 puntos, con las categorías de 7=extremadamente agradable, 6=medianamente agradable, 5=ligeramente agradable, 4=ni me agrada ni me desagrada, 3=ligeramente desagradable, 2=medianamente desagradable y 1=extremadamente desagradable. Todas las pruebas sensoriales se realizaron en el laboratorio de análisis sensorial que tiene paneles independientes, las muestras se prepararon en un cuarto separado, antes de ser presentadas a los consumidores potenciales para su evaluación.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para cada genotipo (bloque) se realizó análisis de varianza comparando los dos niveles de almacenamiento (0 y 9 días a 23 °C). Posteriormente, se compararon los tres genotipos estudiados en otro análisis de varianza de un factor (genotipo). Las variables de respuesta fueron sólidos solubles totales, acidez titulable, pérdida de peso y firmeza. Se realizó la prueba de Tukey-Kramer para la comparación de medias cuando los efectos resultaron significativos ($p < 0.05$). A los datos obtenidos de la prueba de Qpreferencia de consumidores se les realizó análisis de correspondencias utilizando el software Statgraphics Centurion XVI, versión 16.0.07.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Sólidos solubles totales

Los frutos del HC y CN presentaron aumento en los SST durante el almacenamiento a 23 °C, mientras que los de la LE no presentaron cambios significativos (Tabla III.1). Al comparar los tres genotipos, no hubo diferencias significativas entre ellos, tanto a los 0 como a los 9 días de almacenamiento a 23 °C (Figura III. 1A y III 1B). Estos resultados son contrarios a los reportados por García-Méndez et al. (2009), quienes encuentran que los niveles de SST varían dependiendo del cultivar.

Cabe señalar que los valores de SST observados en este trabajo van de 3.53 a 4.23, que se encuentran en el rango de 3.5 a 5.8 reportado para jitomates cultivados en California (Cantwell *et al.*, 2007) y de 3.4 a 5.5 reportado para jitomates cultivados en Turquía (Turnhan y Seniz, 2009); aunque están por debajo del valor de 5 recomendado para jitomates de buena calidad. Se ha reportado que el contenido de azúcares correlaciona positivamente con el contenido de SST en jugo de tomate y en la mayoría de los casos estudiados la correlación es alta (Beckles 2012).

Acidez Titulable

En relación a la AT, en la Tabla III. 1 se observar que tanto el CN como LE no presentaron cambios significativos por efecto del tiempo de almacenamiento a 23 °C,

mientras que el HC si presentó disminución significativa, en los frutos que fueron almacenados por 9 días a 23 °C. Al realizar el análisis estadístico comparando los tres genotipos, se encontró que los frutos de CN presentaron valores significativamente superiores de acidez titulable, mientras que LE presentó valores intermedios y HC valores más bajos, tanto a los 0 como a los 9 días de almacenamiento (Figura III. 1C y III. 1D). Estos resultados coinciden con lo reportado por Anza et al. (2006), quienes publicaron que la AT varía dependiendo del cultivar y época de cosecha. Los valores de AT obtenidos en este trabajo van de 0.14 a 0.41 que están cercanos al rango reportado para jitomates cultivados en California de 0.24 a 0.41 (Cantwell *et al.*, 2007) y al rango reportado para jitomates cultivados en Turquía de 0.22 a 0.4 (Turhan y Seniz, 2009). Los frutos del HC son los que presentaron valores inferiores de AT a los 9 días de almacenamiento a 23 °C. Es importante señalar que los frutos de CN fueron los que presentaron valores en el rango recomendado por Beckles (2012) para jitomates de buena calidad (mayores al mínimo de 0.4); mientras que los frutos de LE y el HC están por debajo del mínimo recomendado. Esta autora recomienda valores de mínimo 5 para SST y mínimo 0.4 para TA.

En estudio reciente analizando seis ecotipos de jitomate, se encontró que dulzura y acidez varían fuertemente con las condiciones ambientales; mientras que el componente genético tiene mayor impacto en la textura (Carli *et al.*, 2011).

Al analizar el cociente de los dos parámetros anteriores (SST/AT), se puede observar que durante el almacenamiento por nueve días a 23 °C, los frutos de LE no mostraron cambios notables respecto al análisis a los 0 días de almacenamiento, 11.16 en comparación con 11.10; los frutos de CN mostraron ligero aumento, 10.02 a los 9 días en comparación con 9.11 a los 0 días de almacenamiento, mientras que el HC mostró aumento notable de más de dos veces, en la relación SST/AT con respecto al análisis a los 0 días de almacenamiento, 29.39 en comparación con 13.23. Al comparar los tres genotipos de jitomate, se puede observar que los frutos del HC presentaron valores más altos de SST/AT, en el intervalo de 13.23 a 29.39, mientras que CN presentó los valores más bajos, en el intervalo de 9.11 a 10.03; lo

que puede explicarse por la AT significativamente mayor que tienen los frutos de CN. Los valores de la relación SST/AT presentan variación, en un intervalo que va de 9.11, CN 0 d de almacenamiento, hasta 29.39 del HC 9 d de almacenamiento a 23 °C. En la literatura se considera que los frutos de jitomate de buena calidad, requieren relación SST/AT de 12.5 (Beckles, 2012), los frutos del HC recién cosechados con una relación SST/AT de 13.23 son los que están más cercanos a este valor.

Firmeza

En la Tabla III. 1 se observa que la firmeza de los frutos disminuye significativamente durante el almacenamiento a 23 °C, en los tres genotipos estudiados. Al comparar los valores de los tres genotipos, a los 0 días de almacenamiento (Figura III. 1E), se observa que los frutos del HC presentaron mayor firmeza, seguidos por los frutos de LE que tienen valores intermedios, mientras que los de CN son los que presentaron valores significativamente más bajos. A los nueve días de almacenamiento a 23 °C (Figura III. 1F), los frutos del HC y de LE presentaron valores similares, mientras que los de CN mostraron firmeza significativamente menor. Es importante señalar que la firmeza es uno de los parámetros de calidad más importantes, después de la apariencia visual y está asociada con la etapa de maduración, variando entre cultivares, así como con la época de cosecha. La firmeza de los frutos afecta susceptibilidad a daños mecánicos, potencial de manejo, transportación y distribución, y en consecuencia vida útil y comercialización (De Ketelaere *et al.*, 2004; García-Mendez *et al.*, 2009; Causse *et al.*, 2010). Por lo antes mencionado, se concluye que CN tiene menor potencial de comercialización.

Tabla III .1. Análisis físico-químico de los tres genotipos de jitomate. Se comparan los resultados a los 9 días de almacenamiento a 23 °C con respecto a los 0 días de almacenamiento para cada genotipo.

Table III.1. Physico-chemical analysis of three tomato genotypes evaluated. For each genotype, the results after 9 days storage at 23 °C are compared with those at the beginning (0 days) of storage.

| | TIEMPO DE ALMACENAMIENTO A 23 °C (Días) | SST (%) | AT (%) | FIRMEZA (N) |
|----|---|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| HC | 0 | 3.53 ± 0.21 ^a | 0.27 ± 0.02 ^a | 27.83 ± 3.45 ^a |
| | 9 | 4.23 ± 0.15 ^b | 0.14 ± 0.01 ^b | 8.27 ± 2.56 ^b |
| CN | 0 | 3.67 ± 0.10 ^a | 0.40 ± 0.02 ^a | 8.10 ± 0.80 ^a |
| | 9 | 4.07 ± 0.27 ^b | 0.41 ± 0.01 ^a | 0.93 ± 0.32 ^b |
| LE | 0 | 3.60 ± 0.31 ^a | 0.32 ± 0.03 ^a | 19.41 ± 0.64 ^a |
| | 9 | 4.00 ± 0.36 ^a | 0.36 ± 0.01 ^a | 5.23 ± 1.00 ^b |

Medias con la misma letra en las columnas no presentan diferencias significativas durante el tiempo de almacenamiento en cada genotipo. Tukey-Kramer ($p < 0.05$).

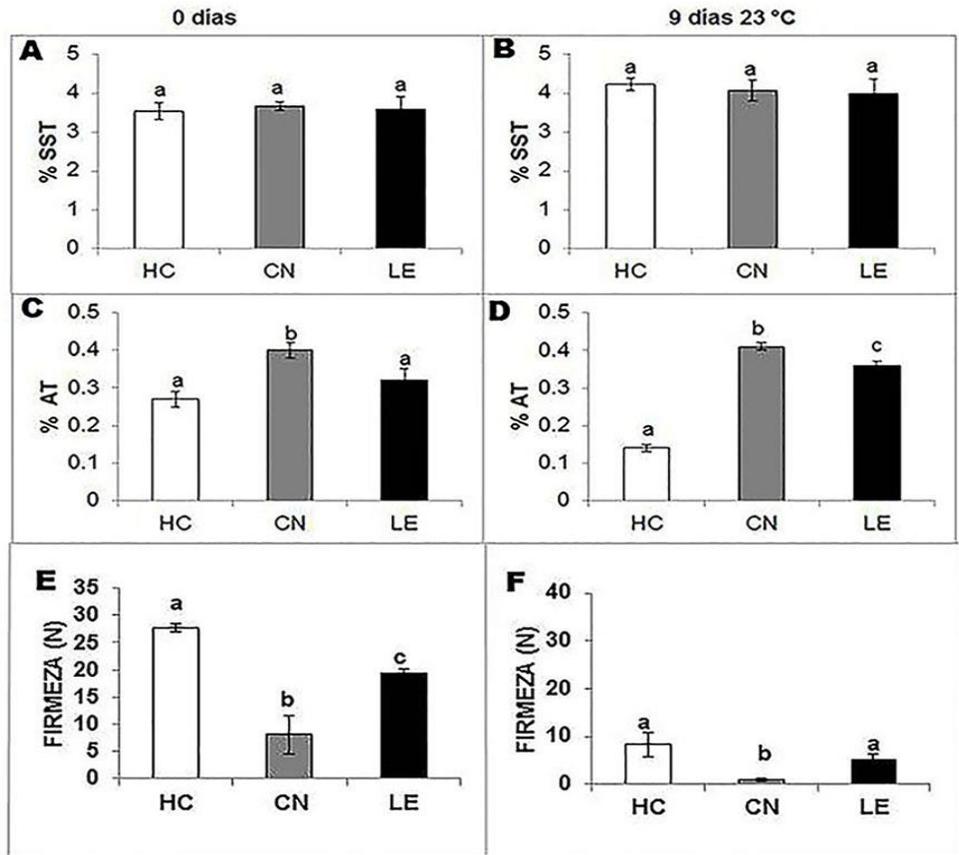


Figura III.1. Efecto del almacenamiento en la acidez titulable, sólidos solubles totales y firmeza en tres genotipos de jitomate. A) SST en frutos recién cosechados, B) SST en frutos almacenados a 23°C por 9 días, C) AT en frutos recién cosechados, D) AT en frutos almacenados a 23°C por 9 días, E) firmeza en frutos recién cosechados y F) firmeza en frutos almacenados a 23°C por 9 días. Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas por tiempo de almacenamiento para cada genotipo Tukey-Kramer ($p < 0.05$).

Figure III. 1. Effect of storage time on the titratable acidity, total soluble solids, and firmness of three tomato genotypes evaluated. A) TSS in freshly harvested fruits, B) TSS in fruits stored at 23 °C for 9 days, C) TA in freshly harvested fruits, D) TA in fruits stored at 23 °C for 9 days, E) firmness in freshly harvested fruits, and F) firmness in fruits stored at 23 °C for 9 days. Means with the same letter do not differ significantly ($p < 0.05$) at each storage time point between genotypes according to the Tukey-Kramer test.

Pérdida de peso

En la figura III. 2 se observa que los frutos de los tres genotipos estudiados disminuyen de peso durante el almacenamiento a 23 °C con comportamiento lineal ($R^2 > 0.99$ en los tres casos). Los frutos de jitomate del HC presentaron menor porcentaje de PP, con porcentaje de PP de 0.641 por día y valores de aproximadamente 6 % a los diez días de almacenamiento a 23 °C. En cambio los frutos de LE y de CN tuvieron pérdidas significativamente superiores (9-10 %) con velocidades de PP de 0.969 y 0.851 por día respectivamente, sin mostrar diferencias significativas entre sí. Estos resultados apoyan que los frutos del HC presentan mayor potencial de comercialización.

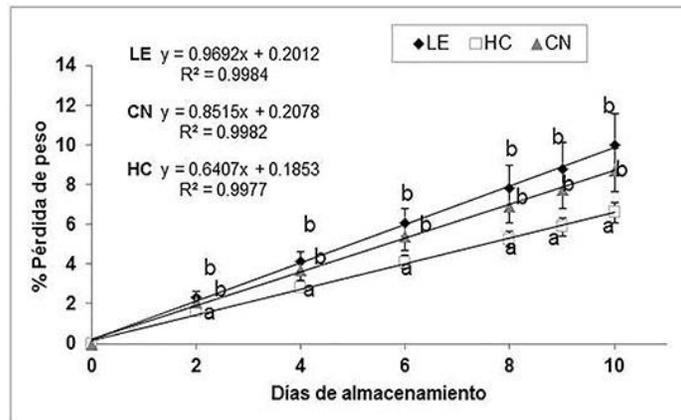


Figura III. 2. Efecto del almacenamiento en la pérdida de peso de los tres genotipos de jitomate almacenados a 23°C. Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas por tiempo de almacenamiento para cada genotipo Tukey-Kramer ($p < 0.05$).

Figure III. 2. Effect of storage time at 23 °C on the weight loss of the three tomato genotypes evaluated. Means with the same letter do not differ significantly ($p < 0.05$) at each storage time point between genotypes according to the Tukey-Kramer test.

Prueba de preferencia de consumidores

Los análisis de correspondencias de las pruebas de preferencia de los frutos sin partir explicó 96.8% en dos dimensiones. En la figura III. 3A se observa que de acuerdo a los descriptores identificados en el aroma, los frutos se dividen en dos grupos. En el primero se encuentran los descriptores del jitomate ideal y del HC y en el segundo los correspondientes a CN y LE. Estos resultados indican que el HC está cercano al jitomate ideal; mientras que, CN y LE están más alejadas. En la figura III 3A también se observa que los descriptores herbal y cítrico son característicos del primer grupo, que contiene al jitomate ideal, mientras que LE se asocia con los descriptores aceite-grasa, humedad y alcohol-solvente y CN con los descriptores medicinal, humedad y humo. Estos descriptores fueron los más relevantes en la diferenciación, al estar relacionados con la dimensión 1 que explica 72.5% de la variabilidad.

En la prueba de consumidores con los frutos partidos (Figura III. 3B), el análisis de correspondencias generó un diagrama que explicó 93.9% de la variabilidad. Se encontró que el jitomate ideal se asoció a sabor dulce y está cercano al HC, el cual siguió asociándose al descriptor herbal, aunque también al de humedad. LE se asoció a los descriptores humedad, cítrico, aceite-grasa y sabor ácido. Por último, CN se asoció a los descriptores medicinal, humo, cítrico, alcohol-solvente y sabor ácido. El sabor dulce y los descriptores medicinal, humo y aceite-grasa fueron los más relevantes en la diferenciación, al estar relacionados con la dimensión 1 que explica 62.1% de la variabilidad.

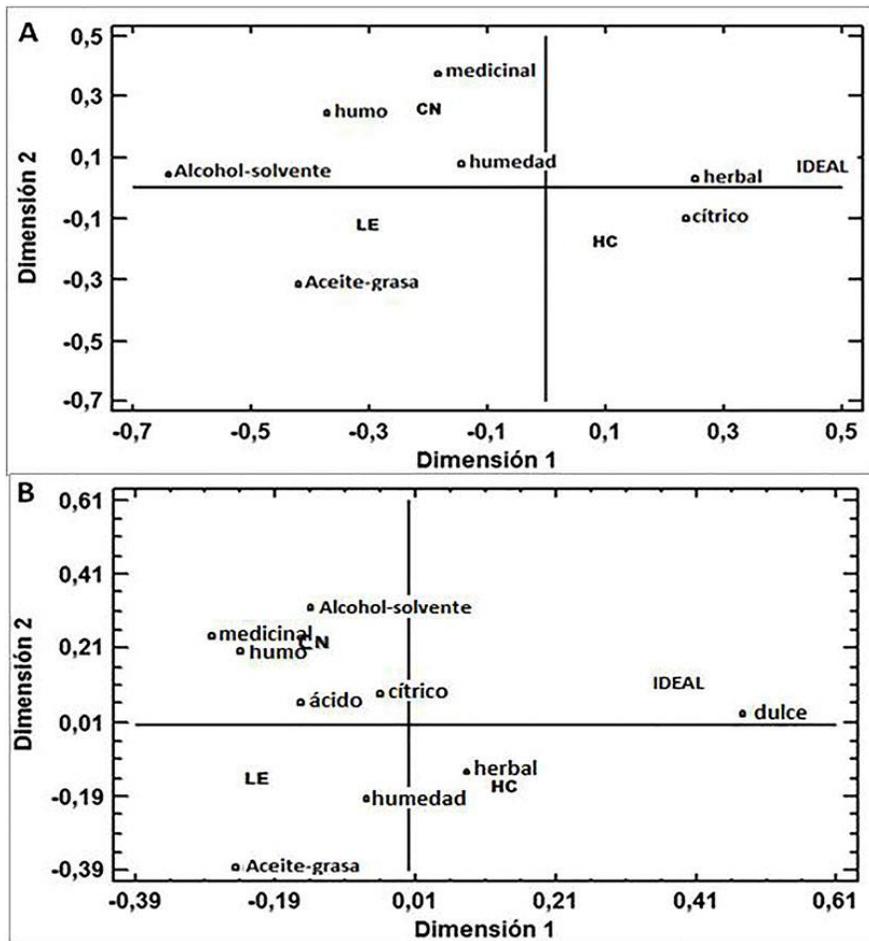


Figura III. 3. Análisis de correspondencias del aroma en A) Frutos sin partir. La dimensión 1 explica el 72.5% y la dimensión 2 24.3% de la variabilidad y B) Frutos partidos. La dimensión 1 explica el 62.1% y la dimensión 2 31.8% de la variabilidad.

Figure III. 3. Correspondence analysis of aroma in A) Whole fruit. The first dimension accounts for 72.5% of the variance, while the second dimension accounts for 24.3%. B) Half-sliced fruit. The first dimension accounts for 62.1% of the variance, while the second dimension accounts for 31.8%.

Los resultados de la percepción de frescura se aprecian en la figura III. 4A para los frutos sin partir y en la figura III. 4B para los frutos partidos. En los frutos sin partir el HC tuvo mayor frescura a la esperada, LE tuvo justo la frescura esperada y CN menor a la esperada. Por otra parte, en los frutos partidos, el HC tuvo también más

frescura de la esperada, el LE tuvo frescura menor a la esperada y CN se consideró poco fresca.

Los resultados anteriores indican que los descriptores herbal y cítrico se asocian a fresca y HC es el más cercano a ellos. En este sentido, Piombino et al. (2013) en un intento por identificar los parámetros clave en la aceptación de jitomates frescos, por los consumidores, encontraron que los frutos con mayor aceptación tenían notas herbales, altos contenidos de SST, azúcares reductores, AT y mayor firmeza. En este trabajo, los descriptores alcohol-solvente y medicinal son los opuestos a la percepción de fresca, junto con humo, siendo la CN considerada como la menos fresca, por su parte el LE se encuentra a la mitad entre lo fresco y no fresco.

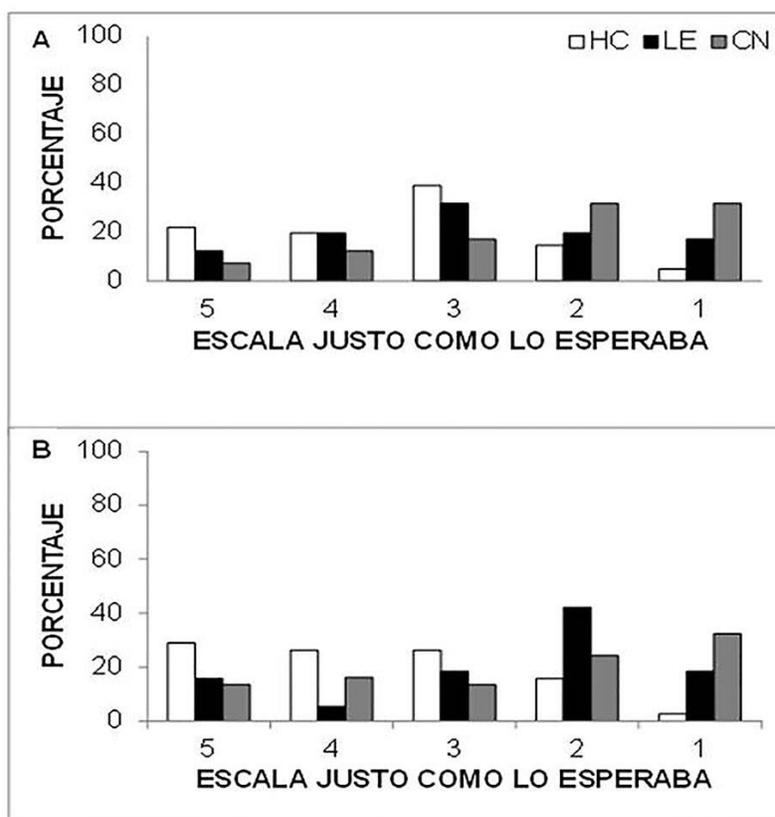


Figura III. 4. Evaluación de la frescura de los frutos por los consumidores (porcentaje). A) Frutos sin partir y B) Frutos partidos. 5=Mucho más de lo que esperaba, 4=Un poco más de lo que esperaba, 3=Justo lo que esperaba, 2=Un poco menos de lo que esperaba, 1=Mucho menos de lo que esperaba.

Figure III. 4. Evaluation of the freshness of fruits by consumers (percentage). A) Whole fruit and B) Half-sliced fruit. Key: 5 = Much more than I expected, 4 = A little more than I expected, 3 = Just as I expected, 2 = A little less than I expected, 1 = Much less than I expected.

Los resultados de agrado general se presentan en la figura III. 5. Los frutos del HC gustaron más, lo que se podría explicar en parte, debido a que el aroma de estos frutos les es más familiar, son los frutos que presentaron menor AT, mayor relación SST/AT y mayor firmeza. En este sentido, se ha reportado que la mayoría de los consumidores prefieren frutos firmes que no pierdan jugo cuando se parten (Kader 1986). Estos resultados coinciden con los reportados por Anza *et al.* (2006), quienes encontraron correlación positiva entre los valores de la relación SST/AT y aceptación de los consumidores. De manera general, LE no agrado ni desagradó, mientras que CN tuvo comportamiento interesante, debido a que a una fracción de los consumidores les agradó y a otra les desagradó, probablemente por tener sabor menos familiar. En este sentido, Wright *et al.* (2001) han reportado la influencia de factores culturales en la preferencia de los alimentos.

Integrando la frescura y agrado, el HC es el más cercano al jitomate ideal, ya que es el mejor evaluado. Las notas dulces, herbales y humedad son sus características principales. En segundo lugar de agrado, se encuentra LE que está cercana a las notas cítricas y sabor ácido, este último una característica no deseable. El menos agradable y menos fresco es CN por tener sabor menos conocido y mayor percepción de acidez por los consumidores. Estos resultados corresponden con la AT superior que presentan estos frutos (Tabla III. 1).

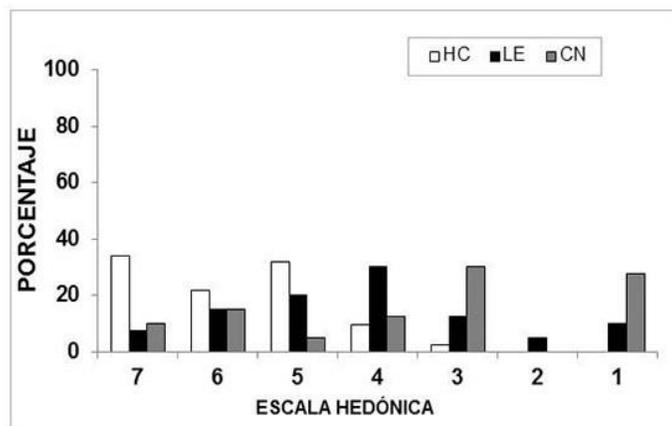


Figura III. 5. Evaluación del agrado general de los frutos por los consumidores (porcentaje). 7=Extremadamente agradable, 6=Medianamente agradable, 5=Ligeramente agradable, 4=Ni me agrada /ni me desagrada, 3=Ligeramente desagradable, 2=Medianamente desagradable, 1=Extremadamente desagradable

Figure III. 5. Assessment of fruit consumer acceptance (percentage). Key: 7 = Extremely pleasant, 6 = Moderately pleasant, 5 = Slightly pleasant, 4 = neither pleasant nor unpleasant, 3 = slightly unpleasant, 2 = Moderately unpleasant, 1 = Extremely unpleasant.

CONCLUSIONES

Los frutos del HC fueron los de mayor preferencia y frescura. Se asocian con los descriptores herbal, cítrico y dulce, presentaron menor AT, mayor relación SST/AT, firmeza elevada y menor PP. Durante el almacenamiento la relación SST/AT aumentó significativamente para HC. Los frutos de LE no agradaron ni desagradaron, tuvieron menor frescura que HC, presentaron valores intermedios de AT y de SST/AT, así como firmeza elevada y mayor PP que HC. A una fracción de los consumidores les agradaron los frutos de CN y a otra les desagradaron, probablemente por tener aroma y sabor menos familiar, fueron los frutos considerados menos frescos; con mayor AT, menor SST/AT, PP similar a LE y menor firmeza, este último parámetro afecta negativamente su potencial de

comercialización como fruto fresco. Los descriptores alcohol-solvente, medicinal y humo se asocian a menor frescura.

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación se desarrolló gracias al financiamiento de la UAM, del PROMEP (34775) a la Red de Cuerpos Académicos Ciencia y Tecnología Pre y Postcosecha. Se agradece a Conacyt por la beca 485794 otorgada a Joana Nallely Cruz Salazar para realizar sus estudios de Maestría en Recursos Genéticos y Productividad - Fisiología Vegetal.

REFERENCIAS

- Anza, M., P. Riga & C. Garbisu (2006). Effects of variety and growth season on the organoleptic and nutritional quality of hydroponically grown tomato. *Journal Food Quality* 29: 16-37.
- Ares, G., C. Dauber, E. Fernández, A. Giménez & P. Varela (2014). Penalty analysis based on CATA question to identify drivers of liking and directions for product reformulation. *Food Quality and Preference* 32: 65-76.
- Baldwin, E., J. Scott, C. Shewmaker & W. Schuch (2000). Flavor trivia and tomato aroma: Biochemistry and possible mechanisms for control of important aroma components. *HortScience* 35: 1013-1021.
- Baldwin, E.A., K. Goodner & A. Plotto (2008). Interactions of volatiles, sugars, and acids on perception of tomato aroma and flavor descriptors. *Journal of Food* 73: 294-307.
- Beckles, D.M. (2012). Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato. *Postharvest Biology and Technology* 63: 129-140.
- Cantwell, M., S. Stoddard, M. LeStrange & B. Aegerter (2007). Report to the California tomato commission. Tomato variety trials: Postharvest evaluations for 2006. UCCE Fresh Market Tomato Variety Trial 2006 Postharvest Evaluation. UC Davis, Davis Ca. USA. p.16.
- Carli, P., A. Barone, V. Fogliano, L. Frusciante & M.R. Ercolano (2011). Dissection of genetic and environmental factors involved in tomato organoleptic quality. *BMC Plant Biology* 11: 58.
- Causse, M., M. Buret, K. Robini & P. Verschave (2003). Inheritance of nutritional and sensory quality traits in fresh market tomato and relation to consumer preferences. *Journal Food Science* 68: 2342-2350.

- Causse, M., C. Friguet, C. Coiret, M. Lépiciér, B. Navez, M. Lee, N. Holthuysen, F. Sinesio, E. Moneta & S. Grandillo (2010). Consumer preferences for fresh tomato at the European scale: a common segmentation on taste and firmness. *Journal Food Science* 75: S531-S541.
- De Ketelaere, B., J. Lammertyn, G. Molenberghs, M. Desmert, B. Nicolaï & J. De Baerdemaeker (2004). Tomato cultivar grouping based on firmness change, shelf life and variance during postharvest storage. *Postharvest Biology Technology* 34: 187-201.
- Díaz de León-Sánchez, F., C. Pelayo-Zaldívar, F. Rivera-Cabrera, M. Ponce-Valadez, X. Ávila-Alejandre, F.J. Fernández, H.B. Escalona-Buendía & L.J. Pérez-Flores (2009). Effect of refrigerated storage on aroma and alcohol dehydrogenase activity in tomato fruits. *Postharvest Biology and Technology* 54: 93-100.
- FAOSTAT. (2011) Food and Agriculture Organization of the United Nations Consultado 28-03-2015 en http://faostat3.fao.org/browse/rankings/countries_by_commodity/S
- FAOSTAT. (2013) Food and Agriculture Organization of the United Nations Consultado 28-03-2015 en <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/S>
- García-Méndez, E., P. Gómez, S. Fernández, S. Gutiérrez y M. Gutiérrez-Claramunt (2009). Análisis sensorial, físico-químico y agronómico de cultivares de tomate para su consumo en fresco en Cantabria. *Cuadernos de Fitopatología* 102: 4-11.
- Grandillo, S., H. Ku & S. Tanksley (1999). Identifying the loci responsible for natural variation in fruit size and shape in tomato. *Theoretical and Applied Genetics* 99: 978-987.
- Kader, A.A. (1986). Effect of postharvest handling procedures on tomato quality. *Acta Horticulturae* 190: 209-221.
- Meléndez-Martínez, A.J., P.D. Fraser & P.M. Bramley (2010). Accumulation of health promoting phytochemicals in wild relatives of tomato and their contribution to in vitro antioxidant activity. *Phytochemistry* 71: 1104-1114.
- Piombino, P., F. Sinesio, E. Moneta, M. Cammareri, A. Genovese, M.T. Lisanti & S. Grandillo (2013). Investigating physicochemical, volatile and sensory parameters playing a positive or a negative role on tomato liking. *Food Research International* 50: 409-419.
- SAGARPA. (2014) Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Consultado 28-03-2015 en <http://sagarpa.gob.mx/delegaciones/Jalisco/boletines/Paginas/B0322012.aspx>
- Tandon, K. S., E.A. Baldwin, J.W. Scott & R.L. Shewfelt (2003). Linking sensory descriptors to volatile and nonvolatile components of fresh tomato flavor. *Journal of Food Science* 68: 2366-2371.

- Tieman, D., P. Bliss, L.M. McIntyre, A. Blandon-Ubeda, D. Bies, A.Z. Odabasi & H.J. Klee (2012). The chemical interactions underlying tomato flavor preference. *Current Biology* 22: 1035-1039.
- Turhan, A. & V. Seniz (2009). Estimation of certain chemical constituents of fruits of selected tomato genotypes grown in Turkey. *African Journal of Agricultural Research* 4: 1086–1092.
- U.S.D.A. Tomato color standards Visual Aid from The John Henry Co. Post Office Box 1410 Lansing, Michigan 48904 redesignated at 46 FR 63203, Dec 31, 1981.
- Vogel, J.T., D.M. Tieman, C.A. Sims, A.Z. Odabasi, D.G. Clark & H.J. Klee (2010). Carotenoid content impacts flavour acceptability in tomato (*Solanum lycopersicum*). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90: 2233-2240.
- Wright, L.T., C. Nancarrow & P.M.H. Kwok (2001). Food taste preferences and cultural influences on consumption. *British Food Journal* 103: 348-357.
- Yilmaz, E. (2001). The chemistry of fresh tomato flavor. *Turkish Journal of Agriculturae and Forestry* 25: 149-155.

**CAPÍTULO IV. ANTIOXIDANTES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE TRES
GENOTIPOS DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum*)
ANTIOXIDANTS AND ANTIOXIDANT CAPACITY OF THREE TOMATO (*Solanum
lycopersicum*) GENOTYPES**

Joana Nallely Cruz-Salazar^{1,2}, Juan Manuel Villa-Hernández², Alberto Mendoza-Espinoza^{2,4}, Héctor Escalona-Buendía³, Fernando Díaz de León-Sánchez², Ángel Villegas-Monter⁴, Juan Enrique Rodríguez-Pérez⁵, Laura Josefina Pérez-Flores^{2*}

¹Maestría en Recursos Genéticos y Productividad-Fisiología Vegetal Colegio de Posgraduados. Campus Montecillo Km 36.5 Carretera México-Texcoco. CP 56230 Montecillo, Estado de México. ²Depto. de Ciencias de la Salud, ³Depto. Biotecnología Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. Av. San Rafael Atlixco 186, Col. Vicentina. CP 09340 México D.F. ⁴Cátedra Divisional Amelia Sámano Bishop, Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa. Av. San Rafael Atlixco 186, Col. Vicentina. CP 09340 México D.F. Colegio de Ciencias y Humanidades Plantel Casa Libertad Universidad Autónoma de la Ciudad de México. ⁴Programa de Fruticultura, Colegio de Posgraduados. Campus Montecillo Km 36.5 Carretera México-Texcoco. CP 56230 Montecillo, Estado de México. ⁵Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carretera México-Texcoco. CP 56230 Chapingo, Estado de México.

RESUMEN

El jitomate (*Solanum lycopersicum*) es una hortaliza popular mundialmente, por su color atractivo, valor nutricional y versatilidad de uso; la calidad de los frutos depende de atributos externos (tamaño, forma, color, apariencia) e internos (aroma, sabor, textura). La selección de nuevas variedades se ha basado tradicionalmente en atributos externos, aunque en años recientes se ha dado relevancia a la calidad sensorial y compuestos funcionales. El objetivo de este trabajo es analizar el contenido de antioxidantes (licopeno, β -caroteno y vitamina C), capacidad antioxidante y daño a lípidos en tres genotipos de jitomate, Híbrido Comercial (HC), Línea Experimental (LE) y Colecta Nativa (CN), en frutos recién cosechados y almacenados nueve días a 10 °C o 23 °C. Los resultados indican que los niveles de licopeno en los frutos recién cosechados, no presentaron diferencias significativas entre los tres genotipos, mientras que los niveles de β -caroteno y vitamina C fueron más altos en el HC. Durante el almacenamiento a 23 °C los niveles de licopeno y vitamina C son mayores, en tanto que los niveles de β -caroteno no presentaron diferencias significativas respecto a los frutos recién cosechados. En los frutos almacenados a 10 °C, los niveles de licopeno y β -caroteno no presentaron diferencias significativas respecto a los recién cosechados, con excepción del LE en que hubo incremento; por otra parte, los niveles de vitamina C aumentaron en CN y LE y disminuyeron en HC. Respecto a la capacidad antioxidante, en los frutos recién cosechados y almacenados por 9 días a 10 °C, no se observaron diferencias significativas entre genotipos, en los frutos almacenados por 9 días a 23 °C se observó aumento en el CN. En relación al daño a lípidos medido por lipoperoxidación, en general no se observaron diferencias entre genotipos en los frutos recién cosechados, ni por efecto del almacenamiento, tanto a 10 °C como a 23 °C. Se concluye que los frutos con mejores características de calidad, niveles de compuestos funcionales, frescura y preferencia de consumidores son los del HC.

PALABRAS CLAVES: Compuestos Funcionales; Antioxidantes; Capacidad antioxidante; Lipoperoxidación; Almacenamiento refrigerado.

ABSTRACT

The tomato (*Solanum lycopersicum*) is a world-wide popular fruit due to its attractive color, nutritional value, and versatility of use; fruit quality is determined by both external (size, form, color, appearance) and internal (aroma, flavor, texture) attributes, selection of new varieties has been traditionally based on the former. However, in recent years, sensory qualities and functional compounds have become increasingly relevant. The objective of the present work was to analyze the antioxidant content (lycopene, β -carotene, and vitamin C), capacity, and extent of lipid damage, in three tomato genotypes: commercial hybrid (CH), experimental line (EL), and native selection (NS), as evaluated in both freshly harvested fruit and in tomatoes stored for 9 days at 10°C or 23 °C. When comparing the levels of lycopene in freshly harvested fruits, no significant differences were observed among the three genotypes, whereas the levels of β -carotene and vitamin C were higher in CH fruits. During storage at 23 °C the levels of lycopene and vitamin C increased, while the levels of β -carotene showed no significant differences from those of freshly harvested fruits. Likewise, there were no significant differences in the lycopene and β -carotene levels of fruits stored at 10 °C from those present in freshly harvested produce with the exception of EL fruits, which did present an increase in both of these compounds. Furthermore, the levels of vitamin C increased in both NS and EL genotypes, while they decreased in CH fruits.

No differences were observed in the antioxidant capacity of fruits stored for 9 days at 10 °C, whereas an increase was observed in NS fruits stored for 9 days at 23 °C. Likewise, no differences existed among the genotypes in terms of lipid damage as measured by the level of lipoperoxidation of membranes, either in freshly harvested fruits or in those stored at 10 °C or 23 °C.

It is therefore concluded that CH fruits have the best quality characteristics, levels of functional compounds, freshness, and consumer preference, compared with the other two genotypes evaluated.

KEYWORDS: Functional compounds; Antioxidants; Antioxidant capacity; Lipoperoxidation; Cold storage.

INTRODUCCIÓN

El jitomate (*Solanum lycopersicum*) es uno de los cultivos más importantes de México y el mundo, es la segunda hortaliza más cultivada. Además de su importancia económica, es fuente de vitaminas, minerales y antioxidantes, los cuales son fundamentales para la nutrición y salud humana. Destacan las vitaminas B1, B2, B5, C y E, además de ser rico en carotenoides, como licopeno, pigmento que da al fruto maduro color rojo característico y al igual que la vitamina C y E, tiene carácter antioxidante (Yilmaz, 2001; Lobato *et al.*, 2012). En los últimos años, se ha atribuido al licopeno un papel relevante en la prevención de ciertos tipos de cáncer, especialmente el de próstata así como de enfermedades crónico degenerativas (Giovannuci., 2005; Bramley., 2000; Ellinger *et al.*, 2006).

El fruto de jitomate tiene versatilidad de uso ya que se puede consumir fresco o como ingrediente de diversos alimentos y bebidas. La maduración del fruto de jitomate es un proceso complejo, altamente coordinado; que se inicia cuando las semillas han completado su desarrollo. La maduración se acompaña por cambios físicos y químicos en el color, textura, sabor (gusto y aroma); incluye la síntesis de carotenoides como licopeno, ablandamiento por degradación de la pared celular, cambios en el sabor que resultan de interacciones complejas entre ácidos orgánicos, azúcares solubles y cerca de 400 compuestos volátiles, aproximadamente 20 A 30 de ellos, considerados de impacto (Baldwin *et al.*, 2000).

Las plantas, como otros organismos aerobios, usan el oxígeno para producción eficiente de energía. Sin embargo, como subproductos del metabolismo aerobio se forman en distintos compartimentos celulares, especies reactivas de oxígeno (ERO) tales como peróxido de hidrogeno (H_2O_2), anión superóxido ($O_2^{\cdot-}$), radical hidroxilo (OH^{\cdot}), ó el oxígeno singulete (1O_2) (Vranova *et al.*, 2002). Las ERO al ser altamente reactivas pueden reaccionar con componentes celulares y macromoléculas como lípidos, proteínas y ácidos nucleicos.

Los organismos aerobios han desarrollado sistemas antioxidantes de defensa de las ERO (enzimáticos y no enzimáticos) los cuales trabajan sinérgicamente para

proteger a las células del daño de estas especies (Mittler, 2002). Los sistemas enzimáticos son capaces de remover o neutralizar radicales libres o sus intermediarios, entre éstos se encuentran las enzimas superóxido dismutasa, catalasa, ascorbato peroxidasa y glutatión reductasa. Los sistemas no enzimáticos utilizan antioxidantes como carotenoides (licopeno y β -caroteno) y vitaminas (C o ácido ascórbico y E o α -tocoferol), que protegen a las biomoléculas de la oxidación, inhibiendo la iniciación y/o propagación de las reacciones en cadena de los radicales libres (Moon y Shibamoto., 2009). Otra estrategia de defensa, comprende la reparación de los daños causados por las ERO en las biomoléculas, a través de enzimas reparadoras (Mohamed *et al.*, 2007; Tavarini *et al.*, 2008).

En los frutos de jitomate, la cantidad de moléculas antioxidantes puede ser afectada por época de cosecha, factores ambientales, tratamientos durante el cultivo, condiciones de almacenamiento, así como por el grado de maduración en el cual se encuentra el fruto (Abushita *et al.*, 1997).

La investigación postcosecha pretende mantener la calidad y minimizar las pérdidas de los productos hortofrutícolas. Por su composición química, física y sus características fisiológicas, los productos frescos pierden fácilmente su calidad si se mantienen en condiciones ambientales. La refrigeración es la principal tecnología postcosecha usada para incrementar la vida de anaquel. El almacenamiento en refrigeración con humedad relativa apropiada, disminuye el metabolismo y permite preservar durante más tiempo la calidad comercial de los productos perecederos (Aguilar 2012).

Se ha reportado que el jitomate tiene diferentes temperaturas de almacenamiento, dependiendo del estado de madurez, para conservar durante más tiempo sus características de textura y color. Los frutos de color rojo claro se deben almacenar preferentemente entre 10-12.5 °C. Por otra parte, para el jitomate maduro firme se recomienda entre 7-10 °C, rango en el que la vida de anaquel puede alcanzar de 8 a 10 días (Suslow y Cantwell, 2006).

El objetivo de este trabajo analizar el contenido de antioxidantes (licopeno, β -caroteno y vitamina C), capacidad antioxidante y daño a lípidos en frutos recién cosechados de tres genotipos de jitomate, Híbrido Comercial tipo Uno, Línea Experimental y Colecta Nativa, así como estudiar el efecto del almacenamiento a 10 °C y 23 °C en estos parámetros, con el propósito de seleccionar genotipos sobresalientes para usarse en programas de mejoramiento y en la industria de frutos frescos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó con frutos de jitomate de tres genotipos, Híbrido Comercial tipo Uno (HC), Línea Experimental (LE) procedente del programa de mejoramiento genético de la Universidad Autónoma de Chapingo (UACH) y Colecta Nativa (CN) proveniente del estado de Chiapas, México. Los tres genotipos se establecieron en condiciones de invernadero en sustrato de arena volcánica (tezontle) y solución nutritiva, conducidos a un tallo, en la región de Huichapan, Hidalgo. Los frutos se cosecharon en septiembre en estado de madurez rojo claro, de acuerdo a la escala de color (U.S.D.A., 1981). Los frutos se seleccionaron por uniformidad de color, libres de daños mecánicos, defectos físicos, plagas y enfermedades y fueron transportados a la UAM-Iztapalapa el mismo día de la cosecha.

DISEÑO DEL EXPERIMENTO Y TRATAMIENTOS

El diseño experimental fue en bloques al azar, en que los bloques fueron los genotipos analizados y los factores tiempo de almacenamiento (con los niveles 0 y 9 días de almacenamiento) y temperatura de almacenamiento (con los niveles 23 °C y 10 °C). Los frutos de cada genotipo se dividieron en tres grupos de once frutos cada uno. En el primer grupo se hizo análisis de los frutos recién cosechados (0 días de almacenamiento). Los otros dos grupos fueron almacenados durante 9 días a 10°C con 85 ± 2 % de humedad relativa y 23 °C con 85 ± 2 % de humedad relativa respectivamente. Se usaron tres repeticiones experimentales constituidas por grupos de 4, 4 y 3 frutos. A los frutos de cada repetición (0 días, 9 días de almacenamiento a 23 °C y 9 días de almacenamiento a 10 °C), se eliminaron las semillas, cortaron en

pequeños fragmentos, mezclaron a homogeneidad y procesaron inmediatamente para obtener muestras de pulpa y jugo. El jugo se extrajo de 7.5 g de pulpa con un procesador de alimentos Oster (Stickmixer with mixing cup 2609) y filtró con manta de cielo. Las muestras de pulpa y jugo se pesaron, congelaron en nitrógeno líquido y almacenaron a -70°C en ultracongelador (REVCO modelo ULT 1386-7-A14) hasta las determinaciones de carotenoides (licopeno y β -caroteno), lipoperoxidación de membranas (LPO) y capacidad antioxidante (determinada por los métodos ABTS y DPPH).

DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD

Determinación Carotenoides (licopeno y β -caroteno)

Se tomaron 3 mL del jugo obtenido de cada genotipo y homogeneizaron con 0,0025 g de butilhidroxitolueno (BHT), y colocaron en matraz Erlenmeyer de 25 mL cubierto con papel aluminio para prevenir la fotooxidación. Se agregaron 10 mL de la siguiente mezcla de disolventes (Hexano/Acetona/Etanol 50:25:25, v/v/v) y se agitó por 15 min a 20 °C utilizando un orbital shaker (Lab Line-Instruments, Inc., Melrose Park, Ill. USA). Se agregaron 1.5 mL de agua y agitó nuevamente por 5 min. De las capas formadas, se extrajo la capa superior de hexano que contiene el licopeno y el β -caroteno, utilizando una pipeta Pasteur. Esta capa fue colocada en matraz aforado de 10 mL cubierto con papel aluminio, donde se realizó la segunda extracción del residuo con el mismo procedimiento. Las dos fases hexánicas recuperadas se mezclaron y aforaron a 10 mL con hexano. Posteriormente, tomamos 2 mL de las muestras de hexano y filtraron en membrana de 0.22 μ m (Merck Millipore GVWP01300). A continuación, se inyectaron en cromatógrafo de líquidos de alta resolución (HPLC Agilent Technology 1260) equipado con bomba cuaternaria y detector de arreglo de fotodiodos (DAD, G1315B; Alltech Co. USA) y columna Terra C18 250 x 4.6 mm, 5 μ m y precolumna Phenomenex C18 de 5 μ m (Phenomenex Inc. Torrance, CA. USA). Se realizaron corridas isocráticas con velocidad de flujo de 1mL/min, utilizando como fase móvil acetonitrilo/metanol/diclorometano 43:43:14 v/v/v. Las concentraciones de licopeno y de β -caroteno de las muestras de jitomate

se cuantificaron utilizando curvas patrón elaboradas con estándares comerciales (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO, USA).

Contenido de Ácido L-ascórbico (Vitamina C)

La identificación y cuantificación de la vitamina C (ácido L-ascórbico) se realizó mediante HPLC (cromatografía líquida de alta resolución), por el método descrito por Nour et. al., (2010), con las siguientes modificaciones. Se utilizó el jugo de los frutos de jitomate congelado a -70°C , el cual se descongeló, centrifugó a $1000 \times g$ por 5 minutos y utilizó el sobrenadante como fuente de vitamina C. Todas las muestras de sobrenadantes se mantuvieron en frío y cubiertas de la luz durante las determinaciones. El sobrenadante se filtró con membrana Whatman de $0.45 \mu\text{m}$ antes de ser inyectadas en el cromatógrafo. Se utilizó un equipo Agilent Technology 1260 equipado con bomba cuaternaria y detector de arreglo de fotodiodos (DAD, G1315B; Alltech Co. USA) con longitud de onda de 254 nm para ácido ascórbico. Las determinaciones se hicieron en fase reversa en condiciones isocráticas. Se inyectaron $20 \mu\text{L}$ de cada muestra. Se usó una columna de $5 \mu\text{m}$ Hypersil GOLD aQ ($250\text{mm} \times 4.6\text{mm}$) con buffer de KH_2PO_4 (50mM) pH 2.8, como fase móvil, la cual fue filtrada utilizando una membrana de $0.45 \mu\text{m}$ (Millipore Corporation, Bedford, MA 01730) y desgasificada en sonicador a velocidad máxima por 10 min. La corrida se realizó con velocidad de flujo de 0.7 mL min^{-1} . Para la identificación del ácido ascórbico, se construyó una curva de calibración usando el estándar comercial grado HPLC (Sigma-Aldrich, México).

Capacidad antioxidante

Método DPPH

La determinación de la capacidad antioxidante se basó en la evaluación de la capacidad del jugo de jitomate para secuestrar radicales libres, de acuerdo al método descrito por Brand-Williams y colaboradores (1995). Las muestras de jugo de jitomate se centrifugaron (centrífuga Beckman GS-15R) a $4500 g$ por 20 min a 4°C . Posteriormente, se preparó una solución stock de DPPH (2,2-difenil-2-picril-hidracilo) pesando 4.8 mg de DPPH y agregándole 20 mL de metanol absoluto, de este stock

preparamos una solución diaria con 10 mL del stock y 40 mL de metanol absoluto; la solución diaria de DPPH debe tener absorbancia de 1.1 a 515 nm. La mezcla de reacción contuvo 50 μ L del jugo de jitomate y 950 μ L de la solución diaria de DPPH y se incubo por 15 min a temperatura ambiente. La capacidad antioxidante fue determinada mediante el decremento de la absorbancia a 515 nm. El blanco de la muestra se realizó mezclando 950 μ L de metanol absoluto con 50 μ L de jugo. Las lecturas de absorbancia se interpolaron en la curva de calibración, elaborada con concentraciones conocidas de Trolox. Los resultados se reportaron como la capacidad antioxidante equivalente del Trolox mM mL⁻¹ de jugo.

Método BTS

Este método se basa en la lectura de la disminución de la absorbancia a 734 nm, debido a la reducción del radical ABTS[•] por los compuestos antioxidantes presentes en las muestras. Se preparó una solución de ABTS (Sigma-Aldrich) 7mM y persulfato de potasio (K₂S₂O₈) a 2.45 mM y se hizo mezcla 1:1 (v/v), la cual reposo durante 16 horas. Se diluyó con etanol al 20% (v/v) hasta alcanzar absorbancia de 0.7 \pm 0.02 a 734 nm. Se agregaron 3 ml de la solución anterior de ABTS[•] con 100 μ l de la muestra y dejó reaccionar durante 15 minutos, se leyó la absorbancia a 734 nm., usando como blanco agua. Las lecturas de absorbancia se interpolaron en la curva de calibración, elaborada con concentraciones conocidas de Trolox. Los resultados se expresaron en equivalentes de Trolox mM mL⁻¹ de jugo (Re *et al.*, 2005).

Daño a lípidos (Lipoperoxidación de membranas)

El nivel de lipoperoxidación de las membranas de los frutos de cada genotipo, se determinó de acuerdo con el método propuesto por Buege y Aust (1978), el cual se basa en la cuantificación del contenido de malondialdehído (MDA); uno de los productos finales de la peroxidación de ácidos grasos polinsaturados de las membranas.

Se obtuvo el extracto pesando 0.5 g de pulpa de jitomate y se maceró con 5 mL de buffer (Tris 20 mM pH 7.4), adicionado con 10 μ l de butilhidroxitolueno (BHT). El

homogenado se centrifugó a 3000 x g durante 10 min a 4°C y se recuperó el sobrenadante.

La mezcla de reacción se realizó en tubos de vidrio, agregando 0.5 mL del extracto y 1 mL de solución de reacción (ácido tricloroacético (TCA) 15% p/v, ácido tiobarbiturico (TBA) 0.5% p/v y ácido clorhídrico (HCL) 0.25 N. La mezcla reacción se incubó por 25 minutos en agua a 85-90°C para favorecer la reacción entre el MDA y TBA. La absorbancia de las muestras se leyó a 535 nm. Para descartar la absorbancia que no corresponde a la reacción con el TBA, se utilizó como blanco de muestra (en el que la solución de reacción se sustituye por buffer). Los niveles de lipoperoxidación se obtuvieron utilizando un coeficiente de absortividad molar (ϵ) de $155 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ (Buege y Aust 1978) y los resultados se reportan como nmol de MDA por g de peso fresco.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para cada genotipo (bloque) se realizó análisis de varianza comparando los dos niveles de almacenamiento (0, y 9 días a 23 °C y 9 días de almacenamiento a 10 °C). Posteriormente, se compararon los tres genotipos estudiados en otro análisis de varianza de un factor (genotipo). Las variables de respuesta fueron licopeno, β -caroteno, ácido L-ascórbico (vitamina C), capacidad antioxidante por el método ABTS, capacidad antioxidante por el método DPPH y lipoperoxidación de membranas. Se realizó la prueba de Tukey-Kramer para la comparación de medias cuando los efectos resultaron significativos ($p < 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Carotenoides (Licopeno y β -caroteno)

En la figura IV. 1 se presenta el contenido de carotenoides presentes en frutos de jitomate. Al comparar los tres genotipos no se encontraron diferencias significativas entre ellos en el contenido de licopeno, tanto en los frutos recién cosechados, como en los frutos almacenados durante 9 días a 23 °C y 10 °C (Figura IV. 1A). Los niveles de licopeno encontrados en los tres genotipos estudiados, en el intervalo de

1.29 a 4.26 mg/ 100 g de pulpa. Estos resultados están en el mismo orden de magnitud reportado por Toor y Savage (2005) y por Luna-Guevara *et al.* (2014) quienes encontraron niveles de licopeno de 2.8 y 2.4 mg/ 100 g de pulpa.

Se puede observar que en los tres genotipos HC, LE y CN el contenido de licopeno presenta aumento significativo durante el almacenamiento por 9 días a 23°C, este aumento puede explicarse debido al avance en el proceso de maduración, mientras que en los frutos almacenados por 9 días a 10°C no se presentaron cambios en el contenido de licopeno con respecto a los valores obtenidos en los frutos recién cosechados (Figura IV .1B). Estos resultados coinciden con los reportados por Abushita *et al.* (1997), quienes reportan que en los frutos almacenados a temperaturas inferiores de 12 °C o superiores a 32 °C se inhiben los precursores de licopeno, evitando su formación.

En relación al contenido de β -caroteno presente en los frutos recién cosechados, se puede observar al comparar los tres genotipos estudiados, que el HC tiene valores significativamente superiores a los del LE, mientras que CN presentó valores intermedios (Figura IV. 1C). Al comparar el contenido de β -caroteno en los frutos almacenados 9 días a 10 °C o 23 °C no se encontraron diferencias significativas entre genotipos. Al analizar el efecto del tiempo almacenamiento en las dos temperaturas estudiadas (23 °C y 10 °C), se observa que los niveles de β -caroteno no presentaron cambios significativos en HC y CN con respecto a los frutos recién cosechados; mientras que en LE se observó un aumentó en el contenido de β -caroteno en los frutos almacenados a 10°C con respecto al contenido de los frutos recién cosechados (Figura IV. 1D).

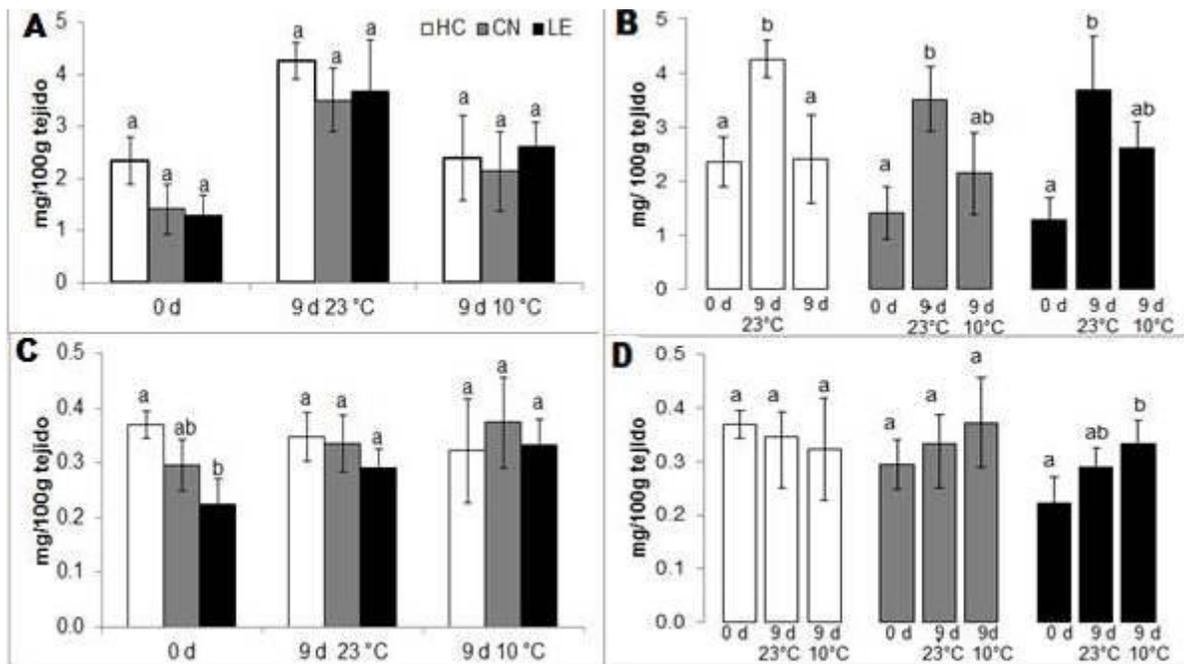


Figura IV. 1. Efecto del genotipo y del tiempo de almacenamiento a 23 °C y 10°C en el contenido de carotenoides. A) Comparación del contenido de licopeno entre genotipos a 0 días, 9 días de almacenamiento a 23 °C y 10 °C, B) Comparación del contenido de licopeno por efecto del almacenamiento en cada genotipo, C) Comparación del contenido de β-caroteno entre genotipos a 0 días, 9 días de almacenamiento a 23 °C y 10 °C y D) Comparación del contenido de β-caroteno por efecto del almacenamiento en cada genotipo. Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre genotipos (1A y 1C) y por efecto del almacenamiento en cada genotipo (1B y 1D). Tukey-Kramer ($p < 0.05$).

Figure IV.1. Effect of genotype and storage time at 23 °C and 10 °C in the carotenoid content of fruits. A) Comparison of the lycopene content between genotypes at 0 days and after 9 days of storage at 23 °C and 10 °C, B) Comparison of the lycopene content in each genotype as a function of storage, C) Comparison of the β-carotene content between genotypes at 0 days and after 9 days of storage at 23 °C and 10 °C, and D) Comparison of the β-carotene content in each genotype as a function of storage. Means with the same letter do not differ significantly ($p < 0.05$) across genotypes (1A and 1C) or as a result of storage time for each genotype (1B and 1D) according to the Tukey-Kramer test.

Ácido L-ascórbico (Vitamina C)

En la figura IV. 2A se presentan los niveles de ácido ascórbico en los tres genotipos estudiados. Se observa que en los frutos recién cosechados los niveles de vitamina C son mayores en HC seguido de LE, mientras que CN tuvo los valores más bajos. En los frutos almacenados por 9 días a 23 °C se observa que HC y CN tienen valores similares de vitamina C, mientras que LE tuvo valores significativamente inferiores. Por otra parte, en los frutos almacenados a 10 °C, los mayores niveles de vitamina C se encuentran en LE seguidos de CN y HC presentó los valores más bajos.

Al analizar el efecto del almacenamiento (Figura IV. 2B), se encontró para el HC que los niveles de vitamina C se incrementan en los frutos almacenados a 23 °C y disminuyen en los frutos almacenados a 10 °C, en comparación con los frutos recién cosechados. En CN se observa que el almacenamiento en las dos temperaturas estudiadas produjo incremento en los niveles de ácido ascórbico, siendo mayores en los frutos almacenados a 23 °C. En LE también se observó aumento en los niveles de ácido ascórbico durante el almacenamiento, siendo mayores en los frutos almacenados a 10 °C.

Se ha reportado que el efecto del tiempo y temperatura de almacenamiento en los niveles de compuestos bioactivos como carotenoides, fenólicos totales, vitamina C, entre otros, depende del genotipo, zona y época de producción, así como de las condiciones de almacenamiento. En algunos estudios se reporta que el almacenamiento refrigerado aumenta los niveles de vitamina C (Luna-Guevara *et al.*, 2014) y licopeno (Vinha *et al.*, 2013). En nuestro caso, este efecto solo se encontró para LE en que se observó aumento de licopeno y vitamina C en los frutos almacenados en refrigeración.

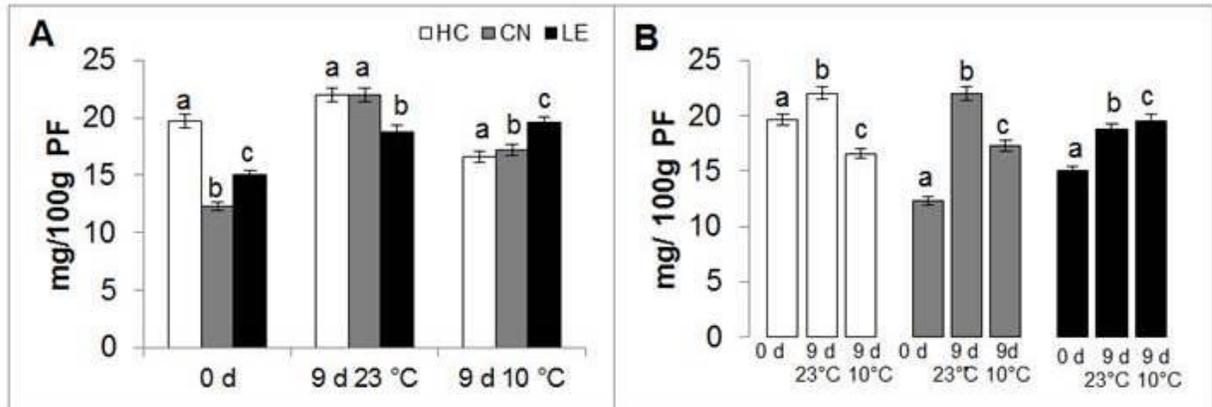


Figura IV. 2. Efecto del genotipo y del tiempo de almacenamiento a 23 °C y 10 °C en el contenido de ácido L-ascórbico. A) Comparación del contenido de ácido L-ascórbico entre genotipos a 0 días, 9 días de almacenamiento a 23 °C y 10 °C y B) Comparación del contenido de ácido L-ascórbico por efecto del almacenamiento en cada genotipo. Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre genotipos (2A) y por efecto del almacenamiento en cada genotipo (2B). Tukey-Kramer ($p < 0.05$).

Figure IV. 2. Effect of genotype and storage time at 23 °C and 10 °C in the content of L-ascorbic acid of fruits. A) Comparison of the content of L-ascorbic acid between genotypes at 0 days and after 9 days of storage at 23 °C and 10 °C and B) Comparison of the content of L-ascorbic acid in each genotype as a function of storage. Means with the same letter do not differ significantly ($p < 0.05$) across genotypes (2A) or as a result of storage time for each genotype (2B) according to the Tukey-Kramer test.

Capacidad antioxidante (Método ABTS y DPPH)

En la figura IV. 3 se presenta la capacidad antioxidante determinada por el método ABTS (Figura IV. 3A y IV. 3B) y por el método de DPPH (Figura IV. 3C y IV 3D). Se puede observar con ambos métodos, que en los frutos recién cosechados y almacenados en refrigeración a 10 °C por 9 días, no se presentaron diferencias significativas en la capacidad antioxidante entre genotipos. En los frutos almacenados por 9 días a 23 °C se observa aumento significativo en la capacidad antioxidante de los frutos de CN. Para explicar este aumento en la capacidad antioxidante de CN almacenada a 23 °C sería necesario medir los niveles de otros

antioxidantes tales como compuestos fenólicos totales y vitamina E, así como las interacciones que ocurren entre antioxidantes como se ha descrito en otros frutos (Palafox-Carlos *et al.*, 2012).

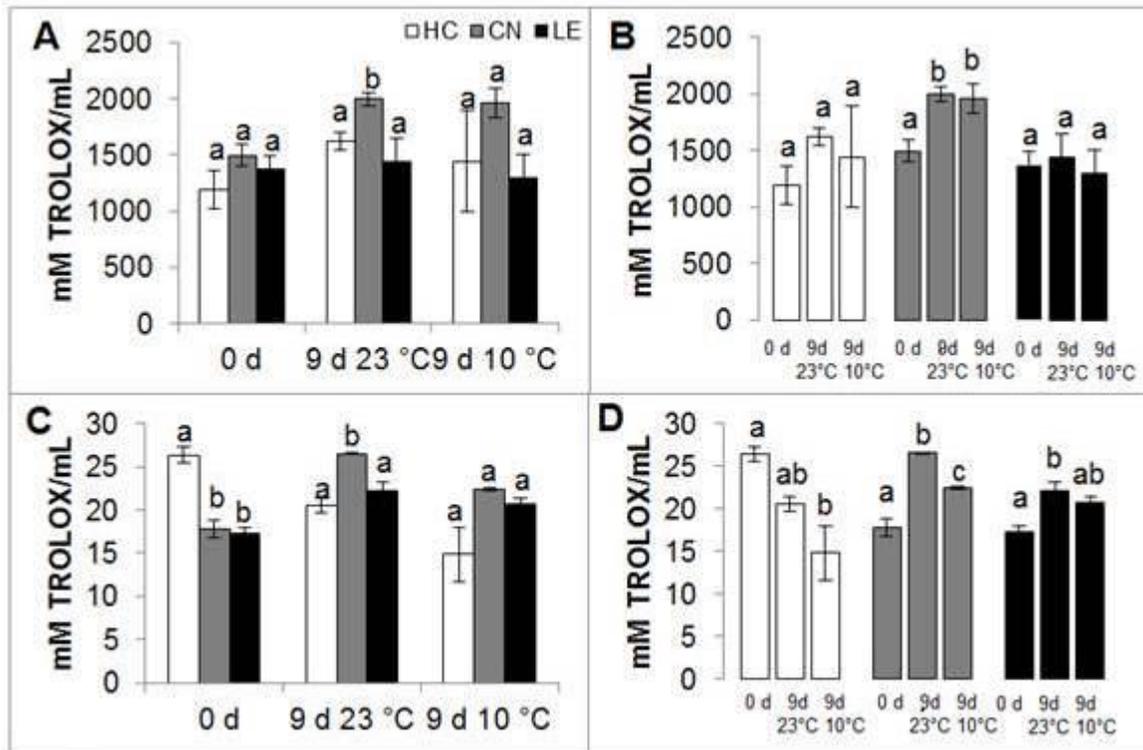


Figura IV. 3. Efecto del genotipo y del tiempo de almacenamiento a 23 °C y 10 °C en la capacidad antioxidante. A) Comparación de la capacidad antioxidante entre genotipos a 0 días, 9 días de almacenamiento a 23 °C y 10 °C, determinada por el método ABTS, B) Comparación de la capacidad antioxidante por efecto del almacenamiento en cada genotipo, determinada por el método ABTS. C) Comparación de la capacidad antioxidante entre genotipos a 0 días, 9 días de almacenamiento a 23 °C y 10 °C, determinada por el método DPPH y D) Comparación de la capacidad antioxidante por efecto del almacenamiento en cada genotipo, determinada por el método DPPH. Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre genotipos (3A Y 3C) y por efecto del almacenamiento en cada genotipo (3B y 3D). Tukey-Kramer ($p < 0.05$).

Figure IV. 3. Effect of genotype and storage time at 23 °C and 10 °C in the antioxidant capacity of fruits. A) Comparison of the antioxidant capacity between genotypes at 0 days and after 9 days of storage at 23 °C and 10 °C as determined using the ABTS assay, B) Comparison of the antioxidant capacity in each genotype as a function of storage time as determined using the ABTS assay. C) Comparison of

the antioxidant capacity between genotypes at 0 days and after 9 days of storage at 23 °C and 10 °C as determined using the DPPH assay and D) Comparison of the antioxidant capacity in each genotype as a function of storage time as determined using the DPPH assay. Means with the same letter do not differ significantly ($p < 0.05$) across genotypes (3A and 3C) or as a result of storage time for each genotype (3B and 3D) according to the Tukey-Kramer test.

Daño a lípidos (Liperoxidación de membranas)

En la figura IV. 4A se presenta la comparación del daño a lípidos medido como liperoxidación en los tres genotipos estudiados. No se encontraron diferencias significativas en los niveles de liperoxidación entre los genotipos en los frutos recién cosechados ni por efecto del almacenamiento, tanto a 10 °C como a 23 °C.

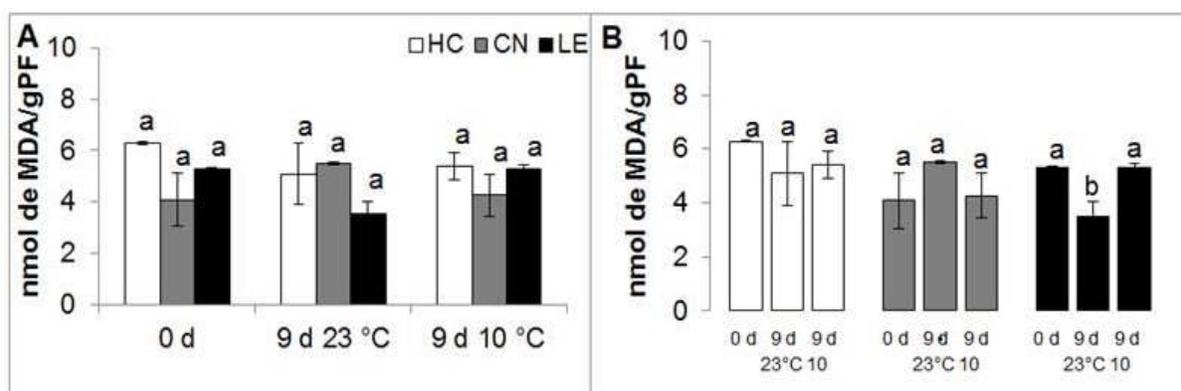


Figura IV. 4. Efecto del genotipo y del tiempo de almacenamiento a 23 °C y 10 °C en la liperoxidación de membranas (LPO). A) Comparación de la LPO entre genotipos a 0 días, 9 días de almacenamiento a 23 °C y 10 °C y B) Comparación de la LPO por efecto del almacenamiento en cada genotipo. Medias con la misma letra no presentan diferencias significativas entre genotipos (4A) y por efecto del almacenamiento en cada genotipo (4B). Tukey-Kramer ($p < 0.05$).

Figure IV. 4. Effect of genotype and storage time at 23 °C and 10 °C in the level of membrane lipid peroxidation (LPO) of fruits. A) Comparison of the level of LPO between genotypes at 0 days and after 9 days of storage at 23 °C and 10 °C and B) Comparison of the level of LPO in each genotype as a function of storage time. Means with the same letter do not differ significantly ($p < 0.05$) across genotypes (4A) or as a result of storage time for each genotype (4B) according to the Tukey-Kramer test.

CONCLUSIONES

En los frutos recién cosechados en estado rojo claro, no se observaron diferencias significativas en los niveles de licopeno y capacidad antioxidante de los tres genotipos. Sin embargo, en frutos almacenados a 23 °C por 9 días se observó incremento significativo de la capacidad antioxidante de los frutos de CN. En general, no se observó efecto significativo del almacenamiento refrigerado en los niveles de licopeno y β -caroteno. Sin embargo, la vitamina C se incrementó en estas condiciones para LE, lo que podría explicar la disminución en el daño a membranas medido como lipoperoxidación en estos frutos.

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación se desarrolló gracias al financiamiento de la UAM, del PROMEP (34775) a la Red de Cuerpos Académicos Ciencia y Tecnología Pre y Postcosecha. Se agradece a Conacyt por la beca 485794 otorgada a Joana Nallely Cruz Salazar para realizar sus estudios de Maestría en Recursos Genéticos y Productividad - Fisiología Vegetal.

REFERENCIAS

- Aguilar, M. (2012) Métodos de conservación de alimentos. 1^{er} ed., Red tercer milenio. (pp. 48-112). Edo. Méx.
- Abushita, A. A., E. A. Hebshi, H. G. Daood & P. A. Biacs (1997). Determination of antioxidant vitamins in tomatoes. *Food Chemistry* 60: 207-212.
- Baldwin, E., J. Scott, C. Shewmaker & W. Schuch (2000). Flavor trivia and tomato aroma: Biochemistry and possible mechanisms for control of important aroma components. *HortScience* 35: 1013-1021.
- Bramley, P (2000). Is lycopene beneficial to human health?. *Phytochemistry* 54: 233-236.
- Brand-Williams W., M. Cuvelier & C. Berset (1995). Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensmittel Wissenschaft And Technologie* 28: 25-30.
- Buege, J.A., Aust, S.D., 1978. Microsomal lipid, Peroxidation. In: Flesicher, S., Packer, L. (Eds.), *Methods in Enzymology*. Vol. 52. Academic Press, New-York, pp. 302-310.

- Chew, O., Whelan, J., & Millar A. H., 2003. Molecular Definition of the Ascorbate-Glutathione Cycle in *Arabidopsis* Mitochondria Reveals Dual Targeting of Antioxidant Defenses in Plants. *The Journal of biological chemistry* Vol. 278, No. 47, Issue of November 21, pp. 46869–46877.
- Ellinger S., J. Ellinger & P. Stehle (2006). Tomatoes, tomato products and lycopene in the prevention of a prostate cancer: do we have the evidence from intervention. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care* 9: 722-727.
- Giovannucci E. (2005). Tomato products, lycopene, and prostate cancer: a review of the epidemiological literature. *The Journal of Nutrition* 135: 2030S-2031S.
- Lobato Ortiz, R., Rodríguez Guzmán, E., Carrillo Rodríguez, J.C., Chávez Servia, J.L., Sánchez Peña, P. & Aguilar Meléndez, A. (2012) Exploración, colecta y conservación de recursos genéticos de jitomate: avances en la Red de Jitomate. Grupo Publicitario Imagen Digital. Texcoco, Estado de México México.
- Luna-Guevara, M.L., O. Jiménez-González, J. J. Luna-Guevara, P. Hernández-Carranza & C. E. Ochoa-Velasco (2014). Quality and Bioactive Compounds of red Tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) cv Roma VF at Different Postharvest Conditions. *Journal of Food Research* 3:8-18.
- Mittler R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends in Plant Science* 7: 405-410.
- Mohamed R., M. Pineda & M. Aguilar (2007). Antioxidant capacity of extracts from wild and crop plants of the Mediterranean region. *Journal of Food Science* 72: 59-63.
- Moon J. & T. Shibamoto (2009). Antioxidant assays for plant and food components. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57: 1655- 1666.
- Nour V., I. Trandafir I & M. E. Ionica (2010). HPLC organic acid analysis in different citrus juices under reversed phase conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 38, 44-48.
- Palafox-Carlos Hugo, Joana Gil-Chávez, Rogerio R. Sotelo-Mundo, Jacek Namiesnik, Shela Gorinstein & Gustavo A. González-Aguilar. (2012). Antioxidant Interactions between Major Phenolic Compounds Found in “ataulfo” Mango Pulp: Chlorogenic, Gallic, Protocatechiuc and Vanillic Acids. *Molecules* 17, 12657-12664.
- Re, R., N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang & C. Rice-Evans (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine* 26, 1231-1237.
- Rivero-Pérez, M. D., P. Muñiz & M. L. González-Sanjosé (2007). Antioxidant Profile of Red Wines Evaluated by Total Antioxidant Capacity, Scavenger Activity, and Biomarkers of Oxidative Stress Methodologies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55: 5476-5483.

- Tavarini S., E. Degl'Innocenti, D. Remorini, R. Massai & L. Guidi (2008). Antioxidant capacity, ascorbic acid, total phenols and carotenoids changes during harvest and after storage of Hayward kiwifruit. *Food chemistry* 107: 282-288.
- Toor, R. K., & G. P. Savage (2005). Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. *Food Research International* 38: 487-494.
- Singleton V. & J. Rossi (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdicphosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* 16: 144- 158.
- Suslow T. & M. Cantwell (2006). Tomato Recommendations for Maintaining Postharvest Quality. Postharvest Technology Research and Information Center University of California, Davis, CA 95616. <http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Veg/tomato.shtml>
- U.S.D.A. Tomato color standards Visual Aid from The John Henry Co. Post Office Box 1410 Lansing, Michigan 48904 redesignated at 46 FR 63203, Dec 31, 1981
- Vranova, E., I. Dirk & V. Breusagem (2002). Signal transduction during oxidative stress. *Journal of Experimental Botany* 53: 1227-1236.
- Yilmaz, E. (2001). The chemistry of fresh tomato flavor. *Turkish Journal of Agriculturae and Forestry* 25: 149–155.

V CONCLUSIONES GENERALES

Los frutos del HC tuvieron las mejores características de calidad, con mayor relación SST/AT, firmeza elevada y menor PP, así como mayor preferencia y frescura y niveles elevados de los antioxidantes β -caroteno y vitamina C. Se asocian con los descriptores herbal, cítrico y dulce y son para los consumidores los más cercanos al jitomate ideal.

LE tuvo características intermedias de calidad, preferencia de consumidores aunque tuvo mayor PP y menor frescura que HC.

El CN a una fracción de los consumidores les agradó y a otra les desagradó, probablemente por tener aroma y sabor menos familiar, fueron los frutos con menor frescura, asociándose a los descriptores alcohol-solvente, medicinal y humo. Tuvieron menor firmeza, lo que afecta negativamente su potencial de comercialización como fruto fresco, por lo que solamente se podría recomendar su uso como frutos gourmet procesados.

En los frutos recién cosechados en estado de madurez rojo claro, no se observaron diferencias significativas entre genotipos estudiados en los niveles de licopeno y capacidad antioxidante. Sin embargo, los frutos del CN almacenados nueve días a 23 °C, continuaron su proceso de maduración alcanzando los valores más elevados de capacidad antioxidante. Estos resultados apoyan la hipótesis propuesta de que los frutos maduros del CN al no tener manejo agronómico y estar expuesto constantemente a cambios ambientales, presentarían la mayor capacidad antioxidante.

En general, no se observó efecto significativo del almacenamiento refrigerado en los niveles de licopeno y β -caroteno. Sin embargo, los niveles de vitamina C se incrementaron en estas condiciones para LE, lo que explicaría la menor lipoperoxidación observada en los frutos de este genotipo durante el almacenamiento refrigerado. Por lo que se rechaza la hipótesis de que el almacenamiento refrigerado a 10 °C, de manera similar a otros tipos de estrés, incrementaría los niveles de los antioxidantes estudiados, ya que no se observó este comportamiento para todos los antioxidantes.