



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

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

CAMPUS MONTECILLO

POSGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

FRUTICULTURA

**“CALIDAD DE FRUTO DE JITOMATE EN ACERVOS Y POBLACIONES
NATIVAS DE MÉXICO”**

LILIA SALGADO MERAZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2011

La presente tesis titulada: “**CALIDAD DE FRUTO DE JITOMATE EN ACERVOS Y POBLACIONES NATIVAS DE MÉXICO**”, realizada por la alumna: Lilia Salgado Meraz 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
FRUTICULTURA**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



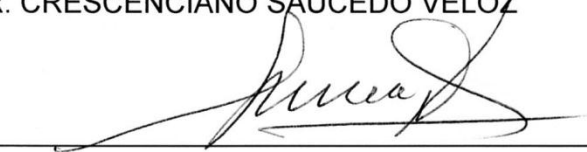
DR. PORFIRIO RAMÍREZ VALLEJO

ASESOR:



DR. CRESCENCIANO SAUCEDO VELOZ

ASESOR:



DR. SALVADOR MIRANDA COLÍN

ASESORA:



DRA. MARIA NICOLASA RODRÍGUEZ GARCÍA

Montecillo, Texcoco, Edo. de México, Abril de 2011

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el patrocinio para realizar mis estudios de postgrado.

Al Colegio de Postgraduados, particularmente al Instituto de Recursos genéticos y Productividad-Fruticultura por permitirme continuar con mi formación académica.

Al CONACyT por el apoyo brindado en la culminación de este trabajo de investigación a través del proyecto “*Valoración integral de la diversidad de poblaciones nativas de jitomate mexicano (Lycopersicon esculentum)*” que se desarrolla en el posgrado de Recursos Genéticos y Productividad-Genética.

Al Dr. Porfirio Ramírez Vallejo, por compartir su visión, por su enseñanza, su dedicación, su disciplina, su disposición, su paciencia y su invaluable apoyo en la dirección de ésta investigación.

Al Dr. Crescenciano Saucedo Veloz por su disponibilidad de tiempo, su asesoría, interés y sugerencias para mejorar la calidad de este documento.

Al Dr. Salvador Miranda Colín, por sus recomendaciones y sugerencias para el enriquecimiento de este trabajo.

A las todas las personas que con su apoyo, amistad y tiempo han estado conmigo de principio a fin en la realización de esta investigación y que siempre tuvieron para mí una palabra de aliento. A mi familia y amigos: Ana Luisa, Celia, Ana Laura, Ángeles e Iván Ramírez

Gracias

DEDICATORIA

A Dios por permitirme ver la luz cada mañana, y que en los momentos más difíciles me ha dado fortaleza ...

A Jared, porque has hecho de mí una persona diferente, representas la brújula que me indica el camino; y día a día me recuerdas las cosas que verdaderamente valen la pena en la vida...

A mis Padres y mis Hermanos por su confianza y apoyo, cada uno me ha contribuído de manera especial y diferente; sin ustedes no lo hubiera logrado.

Los grandes espíritus siempre han encontrado la violenta oposición de las mentes mediocres; éstos últimos no pueden entender que un hombre no se someta irreflexivamente a los prejuicios hereditarios sino que emplee honestamente y con coraje su inteligencia.

Albert Einstein

RESUMEN

CALIDAD DE FRUTO DE JITOMATE EN ACERVOS Y POBLACIONES NATIVAS DE MÉXICO

Variedades cultivadas y silvestres de jitomate (*Lycopersicon esculentum*), se encuentran aún en diferentes regiones de México. Sin embargo, la extensión de la diversidad y del grado de variación en características determinantes de la calidad entre acervos genéticos y entre poblaciones mexicanas de jitomate es desconocida. Este estudio se realizó para evaluar la calidad del fruto de 31 poblaciones autóctonas, originarias de ocho regiones del centro, sur y sureste de México, así como del híbrido Caimán y un grupo de 3 poblaciones derivadas. Las poblaciones se cultivaron en invernadero e hidroponía en la primavera de 2008. En frutos del tercer y cuarto racimos, en diferentes estados de madurez, se midieron firmeza, vida de anaquel, luminosidad, ángulo de tono, croma, índice de color, pérdida de peso, concentración de sólidos solubles totales (SST), pH, acidez titulable, relación SST/acidez, y velocidad de respiración. Los datos se evaluaron mediante un diseño factorial (acervo x estado de madurez), además se aplicó un análisis de componentes principales y conglomerados (UPGMA) para las características en madurez de consumo. Las características determinantes de calidad en fruto entre acervos genéticos mostraron grandes diferencias, tanto en la evolución de la madurez como en sus características en madurez comestible. Los acervos regionales mostraron diferencias significativas en vida de anaquel, firmeza, tamaño, pérdida de peso, ángulo de tono, croma, acidez titulable y la relación SST/acidez. El híbrido y poblaciones derivadas tuvieron mayor vida de anaquel y mayor firmeza en la madurez de consumo; las poblaciones nativas fueron superiores en color, determinado con el valor Hue y el índice de color, así como en acidez titulable y concentración de sólidos solubles totales; la variación en tamaño de fruto entre y dentro de acervos fue alta. Las características de calidad y el grado de variación dentro de cada acervo están asociadas con el origen geográfico de las poblaciones nativas. Las poblaciones nativas mostraron ser fuente de germoplasma importante, con variación útil para mejoramiento de jitomate en color, tamaño y sabor.

Palabras clave: *Lycopersicon esculentum*, calidad, población nativa, diversidad, reservorio genético.

SUMMARY

TOMATO FRUIT QUALITY FROM COLLECTIONS AND LANDRACES IN MEXICO

Landraces and wild forms of tomato (*Lycopersicon esculentum*) are still found in different regions in Mexico. The degree of diversity and variability in defining quality characteristics among genetic collections and Mexican tomato populations is unknown. This study evaluated fruit quality of 31 landraces selected from eight regions in the Center, South and Southeast of Mexico, as well as the Caiman hybrid and a group of 3 derived populations. All populations were sowed under greenhouse and hydroponics conditions in the Spring of 2008. On fruits from the third and fourth racemes at different maturity stages, firmness, shelf life, luminosity, tone angle, chrome, color index, weight loss, total soluble solids (TSS) , pH, titratable acidity (% citric acid), TSS-acidity ratio and respiration rate were tested. Characteristics were analyzed using a factorial design (collections x maturity stages); additionally, a principal component and conglomerate analysis (UPGMA) was performed at ripening. The defining quality characteristics in fruit showed ample differences among genetic collections, as maturity evolved and in ripening characteristics. Regional collections showed significant differences in shelf-life, firmness, size, weight loss, tone angle, chrome, titratable acidity and TSS/acidity ratio. Both the hybrid and the derived populations had longer shelf life and greater firmness at ripening; landraces showed higher values for color, as measured by Hue and color index, as well as in higher titratable acidity and TSS. Fruit size variation among and within collections was ample. Quality characteristics and variability degree within each collection are associated with landrace geographic origin. The wide variability observed in landraces in color, size and flavor turns these populations into and useful gene reservoir for breeding with better quality characteristics as color, size and taste.

Keywords: *Lycopersicon esculentum*, quality, landrace, diversity, genetic reservoir.

ÍNDICE GENERAL

	Página
<i>Resumen</i>	<i>v</i>
<i>Summary</i>	<i>vi</i>
<i>Índice de cuadros</i>	<i>ix</i>
<i>Índice de figuras</i>	<i>x</i>
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	15
Revisión de literatura	15
1. Importancia mundial y nacional	15
2. Calidad en jitomate	17
3. Diversidad en el jitomate mexicano	26
4. Poblaciones nativas de México	30
Hipótesis	32
Objetivos	32
Literatura citada	33
CAPÍTULO II. CALIDAD EXTERNA DEL FRUTO EN ACERVOS NATIVOS DE JITOMATE MEXICANO	40
Resumen	40
Introducción	41
Materiales y métodos	43
1. Material biológico	43
2. Diseño experimental	44
3. Manejo del experimento	45
4. Muestreo de frutos	45
5. Características evaluadas	47
6. Análisis de resultados	48
Resultados y discusión	49
1. Evolución de la madurez	49

2. Variación en características de calidad externa	51
<i>Firmeza</i>	51
<i>Luminosidad</i>	54
<i>Ángulo de tono</i>	56
<i>Cromaticidad (Croma)</i>	59
<i>Índice de color</i>	62
<i>Pérdida de peso</i>	64
3. Diversidad en calidad externa en madurez de consumo	66
Conclusiones	70
Literatura citada	71

CAPÍTULO III. CALIDAD INTERNA DEL FRUTO EN ACERVOS	
NATIVOS DE JITOMATE MEXICANO	75
Resumen	75
Introducción	76
Materiales y métodos	79
1. Características evaluadas	79
2. Análisis de resultados	80
Resultados y discusión	81
1. Evolución de la madurez	81
2. Variación en las características de calidad interna	82
<i>pH</i>	83
<i>Sólidos solubles Totales (°brix)</i>	85
<i>Acidez titulable</i>	88
<i>Relación Sólidos Solubles Totales/ acidez total</i>	91
<i>Respiración</i>	93
3. Diversidad en calidad interna en madurez de consumo	95
Conclusiones	100
Literatura citada	100
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN GENERAL	104
Literatura citada	108

ÍNDICE DE CUADROS

CAPITULO II	Página
Cuadro 1. Origen y tipo de poblaciones de acervos de jitomate mexicano evaluados en su calidad interna y externa. Montecillo, Estado de México, 2008.	44
Cuadro 2. Estados de madurez de poblaciones nativas de jitomate, un híbrido y tres líneas derivadas. Montecillo, Estado de México, 2008.	46
Cuadro 3. Análisis de varianza de los factores de estudio para las variables de calidad externa de jitomate de acervos nativos. Montecillo, Estado de México, 2008.	49
Cuadro 4. Valores promedio, desviación estándar y coeficiente de variación de seis características de calidad externa en frutos de acervos de jitomate, en diferentes estados de madurez. Montecillo, Estado de México, 2008.	50
Cuadro 5. Vectores y valores propios de los componentes principales 1 y 2, con base en ocho características de calidad externa de frutos de jitomate de acervos nativos y un grupo de materiales mejorados. Montecillo, Estado de México, 2008.	67
CAPITULO III	Página
Cuadro 6. Análisis de varianza de los factores de estudio para las características de calidad interna de jitomate de acervos nativos. Montecillo, Estado de México, 2008.	81
Cuadro 7. Valores promedio, desviación estándar y coeficiente de variación de cinco características de calidad interna en frutos de jitomate, en diferentes estados de madurez. Montecillo, Estado de México, 2008.	82
Cuadro 8. Vectores y valores propios de los componentes principales 1 y 2, con base en cinco características de calidad interna de frutos de jitomate de poblaciones nativas, líneas derivadas y un híbrido. Montecillo, Estado de México, 2008.	96

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO II	Página
Figura 1. Firmeza de frutos de jitomate en diferentes estados de madurez. Las barras corresponden al promedio de nueve acervos; las líneas verticales a la desviación estándar; la línea recta corresponde a la función de regresión. Montecillo, Estado de México 2008.	52
Figura 2. Firmeza de frutos de jitomate de nueve acervos. Las barras corresponden al promedio de cinco estados de madurez; las líneas verticales a la desviación estándar. Montecillo, Estado de México, 2008.	52
Figura 3. Interacción acervos x estados de madurez para firmeza de frutos de jitomate. Montecillo, Estado de México, 2008	53
Figura 4. Luminosidad de frutos de jitomate en diferentes estados de madurez. Las barras corresponden al promedio de nueve acervos; las líneas verticales a la desviación estándar; la línea vertical muestra la función de regresión. Montecillo, Estado de México, 2008.	54
Figura 5. Luminosidad de frutos de jitomate de nueve acervos. Las barras corresponden al promedio de cinco estados de madurez; las líneas verticales a la desviación estándar, Montecillo, Estado de México, 2008.	55
Figura 6. Interacción acervos x estados de madurez para luminosidad de frutos de jitomate. Montecillo, Estado de México, 2008.	56
Figura 7. Ángulo de tono ($^{\circ}$) de frutos de jitomate en diferentes estados de madurez del fruto. Las barras corresponden al promedio de nueve acervos; las líneas a la desviación estándar. La línea recta muestra la función de regresión. Montecillo, Estado de México, 2008.	57

- Figura 8.** Ángulo de tono de frutos de jitomate en diferentes estados de madurez. Las barras corresponden al promedio de cinco estados de madurez; las líneas verticales a la desviación estándar. Montecillo, Estado de México 2008. **58**
- Figura 9.** Interacción acervos x estados de madurez para ángulo de tono de frutos de jitomate. Montecillo, Estado de México, 2008. **59**
- Figura 10.** Cromo de frutos de jitomate en diferentes estados de madurez. Las barras corresponden al promedio de nueve acervos; las líneas verticales a la desviación estándar y la línea continua a la función de regresión. Montecillo, Estado de México, 2008. **60**
- Figura 11.** Cromo de frutos de jitomate de nueve acervos. Las barras corresponden al promedio de cinco estados de madurez; las líneas verticales la desviación estándar. Montecillo, Estado de México, 2008. **61**
- Figura 12.** Interacción acervos x estados de madurez para croma en frutos de jitomate. Montecillo, Estado de México, 2008. **61**
- Figura 13.** Índice de color de frutos de jitomate en diferentes estados de madurez del fruto. Las barras corresponden al promedio de nueve acervos; las líneas verticales a la desviación estándar, la línea recta muestra la función de regresión. Montecillo, Estado de México, 2008. **62**
- Figura 14.** Índice de color de frutos de jitomate de nueve acervos. Las barras corresponden al promedio de cinco estados de madurez. Montecillo, Estado de México, 2008. **63**
- Figura 15.** Interacción acervos x estados de madurez para índice de color de frutos de jitomate. Montecillo, Estado de México, 2008. **64**
- Figura 16.** Pérdida de peso de frutos de jitomate en diferentes estados de madurez. Las barras corresponden al promedio de nueve acervos; líneas verticales a la desviación estándar; la línea recta a la función de regresión. Montecillo, Estado de México, 2008. **65**
- Figura 17.** Pérdida de peso de frutos de jitomate en nueve acervos. Las barras corresponden al promedio de cinco estados de madurez. Montecillo, Estado de México. 2008. **65**

Figura 18. Interacción acervos x estados de madurez para pérdida de peso de frutos de jitomate. Montecillo, Estado de México, 2008.	66
Figura 19. Dispersión de calidad externa de frutos de jitomate de nueve acervos con base en el primero y segundo componentes principales. Montecillo, Estado de México, 2008.	68
Figura 20. Agrupamiento de 31 poblaciones de jitomate nativas, 3 líneas derivadas y el híbrido comercial Caimán con base en ocho variables de calidad externa. Montecillo, Estado de México, 2008.	69

CAPITULO III

Página

Figura 21. pH en frutos de jitomate en diferentes estados de madurez. Las barras corresponden al promedio de nueve acervos; las líneas verticales a la desviación estándar; la línea curva a la función de regresión. Montecillo, Estado de México, 2008.	83
Figura 22. pH de frutos de jitomate de nueve acervos. Las barras corresponden al promedio de cinco estados de madurez; las líneas verticales a la desviación estándar. Montecillo, Estado de México, 2008.	84
Figura 23. Interacción acervos x estados de madurez para pH de frutos de jitomate. Montecillo, Estado de México, 2008.	85
Figura 24. Sólidos solubles totales de jitomate en diferentes estados de madurez. Las barras corresponden al promedio de nueve acervos; las líneas verticales a la desviación estándar; la línea curva a la función de regresión. Montecillo, Estado de México, 2008.	86
Figura 25. Sólidos solubles totales de frutos de jitomate de nueve. Las barras corresponden al promedio de cinco estados de madurez; las líneas verticales a la desviación estándar; Montecillo, Estado de México, 2008.	87

Figura 26. Interacción acervos x estados de madurez de frutos de jitomate de acervos nativos, líneas derivadas y el híbrido Caimán para sólidos solubles totales.la variable SST. Montecillo, 2008.	88
Figura 27. Acidez titulable de frutos de jitomate en diferentes estados de madurez. Las barras corresponden al promedio corresponden al promedio de nueve acervos; las líneas verticales a la desviación estándar; la línea curva a la función de regresión. Montecillo, Estado de México, 2008.	89
Figura 28. Ácidez titulable de frutos de jitomate de nueve acervos. Las barras corresponden al promedio de cinco estados de madurez; las líneas verticales a la desviación estándar. Montecillo, Estado de México, 2008.	89
Figura 29. Interacción acervos x estados de madurez de frutos de jitomate para la variable pH. Montecillo, Estado de México, 2008.	90
Figura 30. SST/acidez de frutos de jitomate en diferentes estados de madurez. Las barras corresponden al promedio de nueve acervos; las líneas verticales a la desviación estándar; la línea curva a la función de regresión. Montecillo, Estado de México, 2008	91
Figura 31. Relación SST/acidez de frutos de jitomate de nueve acervos. Las barras corresponden al promedio de cinco estados de madurez; las líneas verticales a la desviación estándar. Montecillo, 2008.	92
Figura 32. Interacción acervos x estados de madurez para SST/ acidez de frutos de jitomate. Montecillo, Estado de México, 2008.	93
Figura 33. Respiración frutos de jitomate en diferentes estados de madurez. Las barras corresponden al promedio de nueve acervos; las líneas verticales a la desviación estándar; la línea recta a la función de regresión. Montecillo, Estado de México, 2008.	94
Figura 34. Respiración en frutos de jitomate de nueve. Las barras corresponden al promedio de cinco estados de madurez; las líneas verticales a la desviación estándar. Montecillo, Estado de México, 2008.	94

- Figura 35.** Interacción acervos x estados de madurez para respiración de frutos de jitomate. Montecillo, Estado de México, 2008. **95**
- Figura 36.** Dispersión de calidad interna de frutos de jitomate de nueve acervos en base en los componentes principales 1 y 2. Montecillo, Estado de México, 2008. **97**
- Figura 37.** Agrupamiento de 31 poblaciones de jitomate nativas, 3 líneas derivadas y el híbrido comercial Caimán con base en cinco variables de calidad interna. Montecillo, Estado de México, 2008. **98**

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

REVISIÓN DE LITERATURA

1. Importancia mundial y nacional

El fruto del jitomate (*Lycopersicon esculentum*) constituye uno de los productos hortofrutícolas más ampliamente cultivado y demandado a nivel mundial y constituye la mayor agroindustria en el ámbito agroalimentario (Causse *et al.*, 2003). Debido a que su cultivo se ha adaptado a las condiciones de invernadero, es posible encontrar jitomate fresco durante todo el año, asimismo existen más variedades de jitomate que de cualquier otra hortaliza en el mundo (Foolad 2007). Su amplio consumo se atribuye a la versatilidad de su uso, ya que puede utilizarse directamente o añadido a otros alimentos. Además, se puede transformar en diversos productos, tales como: pastas, mínimamente procesados, jugos, salsas y sopas (Labate *et al.* 2007).

El organismo de la ONU para la Agricultura y la Alimentación (FAO) reporta que el volumen de producción a nivel mundial se ha incrementado significativamente hasta en un 26% entre los años 2000-2008 (FAOSTAT, 2011). El aumento en la producción se atribuye a la introducción de nuevas variedades, además de la adopción de mejores prácticas culturales, uso de fertilizantes, manejo del riego y control de plagas (Grandillo, *et al.*, 1999).

Es posible encontrar producción de jitomate en casi todos los rincones del mundo, desde los trópicos hasta el ártico. La amplia adaptabilidad de la especie le permite sobrevivir tanto en ambientes extremadamente secos, considerados hostiles, como en ambientes muy húmedos; también es posible encontrarla desde el nivel del mar hasta 3300 msnm en zonas montañosas. Por otro lado, se puede cultivar bajo invernaderos y al aire libre, aunque en este último sistema se ve restringido por las bajas temperaturas (Foolad, 2007). Las especies silvestres han desarrollado tolerancia a altas y bajas temperaturas, así como a condiciones edáficas adversas; lo que les ha permitido contar con características diferentes para responder a los factores bióticos y abióticos, siendo el ambiente uno de los factores que influyen mayormente en la variabilidad biológica (Alvarez-Hernández *et al.* 2009).

La producción en el mundo se concentró en 2008 en cuatro países: China (25.9%), Estados Unidos (10.1%), Turquía (8.1%) e India (7.6%). México ocupó el lugar número 10 con una producción correspondiente al 2.2% del volumen total mundial. A partir del 2000, China e India tuvieron un ligero incremento en el volumen producido de 5 y 1 puntos porcentuales, respectivamente. La superficie cosechada de jitomate en el mundo ha tenido modificaciones; en este sentido, China ha incrementado su producción y superficie plantada; por el contrario, México ha incrementado los rendimientos y disminuido la superficie cosechada (FAOSTAT, 2011).

México fue el principal país exportador en 2008; y en ese sentido ha presentado un continuo crecimiento, y llegó a ser 21% mayor respecto al año 2000. En contraparte Estados Unidos incrementó sus importaciones 52.1% en 2008, respecto al 2000 (FAOSTAT, 2011).

El jitomate es parte de una dieta variada y equilibrada, a pesar de que no tiene un alto nivel nutricional. No obstante, por el volumen consumido, esta hortaliza contribuye de manera significativa a la ingesta diaria de vitaminas A y C, así como de minerales esenciales y de otros nutrimentos. El consumo per cápita en el año 2007 a nivel mundial fue de 17.97 kg/año/habitante y estas cantidades se han incrementado. Los países con mayor consumo fueron Egipto, Grecia, Libia, Armenia, Túnez y Turquía, en cantidades superiores a 80 kg/año/habitante. En México, el consumo per cápita se situó en 19.2 kg/año/habitante (FAOSTAT, 2011); en el país, la superficie destinada a este cultivo ha decrecido, sin embargo el volumen producido ha permanecido constante, dado el incremento en el rendimiento. Los principales estados productores son: Baja California Sur, Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Puebla, Querétaro, Sinaloa, Sonora y Zacatecas (SIAP, 2010).

En la comercialización dentro del país se pueden identificar diferentes tipos de jitomate: saladette, bola, de exportación, cherry, orgánico, de invernadero, roma, industrial y Rio Grande (SIAP, 2010); el consumo está basado en parámetros de calidad como color, sabor, consistencia, vida de anaquel y tamaño (Muñoz *et al.* 1995).

La producción de jitomate en el país es de gran importancia económica. Además de ser el principal producto hortícola de exportación, la intensidad del uso de la mano de obra en su cultivo representa una de las fuentes de empleo rural más importante de México (Muñoz *et al.* 1995). La cosecha y la comercialización de jitomate son actividades que generan 72 mil empleos directos y aproximadamente 10.7 millones de empleos indirectos (SIAP, 2010). La superficie de cultivo en invernadero, ha experimentado un crecimiento exponencial en los últimos años lo que ha permitido alcanzar mayores rendimientos, en épocas y condiciones que difícilmente se lograrían en campo abierto, (García, 2010). A este factor se le puede atribuir el incremento de la producción en el país en los últimos años.

El mercado de semillas de jitomate representa la mitad del mercado de semillas mundial, (Greenpeace 2000). En México, la producción de esta hortaliza depende de semillas producidas por compañías transnacionales, muchas de ellas de origen norteamericano, condición que hace necesaria la producción nacional de semillas de menor costo adaptadas a los sistemas productivos de la agricultura nacional, que permitan obtener productos novedosos con valor agregado, que satisfagan nichos específicos de mercado, y que promuevan la conservación de variedades tradicionales nativas (Ortega *et al.* 2000; Macías, 2003).

2. Calidad en jitomate

La calidad del fruto de jitomate está determinada por factores externos e internos. La percepción del consumidor respecto a la calidad tiene como base la apariencia, el sabor, el aroma y la textura (Lecomte *et al.* 2004a). La apariencia es el principal atributo que determina el valor comercial de los jitomates, esta característica es determinada por el color, tamaño, forma, firmeza, uniformidad y ausencia de manchas y defectos (Vilas *et al.*, 1999; Nuez, 2001).

Los objetivos de los programas de mejoramiento de jitomate varían dependiendo de la ubicación, la necesidad y los recursos, con el propósito de reducir costos de producción, garantizar altos rendimientos, y además producir frutas de alta calidad. Los objetivos del mejoramiento han seguido cuatro etapas: para el rendimiento; para vida de anaquel; para mejorar el sabor; y para aumentar la calidad nutricional (Bai y Lindhout, 2007).

El mejoramiento genético ha buscado modificar características de calidad de fruto como tamaño, forma, firmeza, contenido de sólidos solubles, color, sabor, calidad nutricional, vida de anaquel y calidad agroindustrial (Vilas *et al.*, 1999; Foolad, 2007). Se ha señalado que características de calidad como sabor, firmeza y vida de anaquel, en frutos de las variedades híbridas que actualmente se encuentran en el mercado, no satisfacen a los consumidores (Causse *et al.*, 2002); estos frutos tienen excesiva firmeza, son pobres en sabor y tienen larga vida de anaquel característica que se ha relacionado con un menor sabor (Causse *et al.*, 2003).

La reducción de la variación genética de los cultivares modernos de jitomate ha limitado su mejoramiento (Fridman *et al.* 2000; Bai y Lindhout, 2007). La diversidad disponible en los parientes silvestres puede ser aprovechada para mejorar rasgos de interés; de esta manera, las características sensoriales del jitomate tipo cereza (cherry) podrían ser utilizadas en la generación de híbridos (Lecomte *et al.* 2004a, 2004b). Se han identificado dentro del acervo genético del jitomate cultivado, algunos mutantes espontáneos que alteran la madurez y prolongan la vida de anaquel; estas variantes genéticas interfieren en la evolución de la firmeza y en la síntesis de pigmentos; sin embargo, tienen efectos pleiotropicos indeseables sobre el color, el pH, el sabor y el aroma de los frutos, por lo que estos mutantes se emplean escasamente como progenitores para prolongar la vida postcosecha (Dos Santos *et al.*, 2005; Rodríguez *et al.* 2006). Una fuente de variabilidad genética para ampliar la vida de anaquel en frutos de jitomate han sido los genes presentes en especies silvestres como *S. lycopersicum* var. *cerasiforme* y *S. pimpinellifolium*; sin embargo, esta estrategia implica la reducción del peso de fruto (Pratta *et al.* 2000; Grandillo y Tanksley, 1996).

El color rojo del fruto de jitomate es una característica de calidad que ha sido un objeto de estudio en muchos programas de mejoramiento; dada su relación con el contenido de licopeno y los beneficios de este a la salud humana (Giovannucci, 1999). Muchos programas de mejoramiento tienen como objetivo desarrollar cultivares con alto contenido de sustancias antioxidantes (Foolad, 2007); para esta característica, existe una amplia variedad de jitomate cultivado que pueden ser utilizado (Adalid *et al.*, 2007).

La calidad organoléptica del fruto de jitomate para consumo en fresco, ha sido también un objetivo importante para los fitomejoradores; pero su antagónica relación fisiológica con otras características, como el tamaño o la vida de anaquel (Causse *et al.*, 2003), ha obstaculizado el mejoramiento y la obtención de nuevas variedades con características organolépticas deseables (Lecomte *et al.* 2004b).

El análisis sensorial es el método más adecuado para el estudio de características de calidad, como las organolépticas, pero no han sido establecidos los parámetros que servirían a los mejoradores para hacer una selección eficiente (Lecomte *et al.* 2004a). No obstante, la calidad organoléptica se ha relacionado con cuantificaciones fisicoquímicas, como contenido de sólidos solubles totales (SST) y ácidos orgánicos, los cuales son determinantes en el sabor de los frutos de jitomate (Causse *et al.*, 2002). Los SST comprenden azúcares (glucosa, fructosa y en muy pocas cantidades, sacarosa), ácidos orgánicos, lípidos, minerales y pigmentos; sin embargo, dada la proporción de los azúcares respecto a los otros componentes, se acepta que la determinación instrumental de SST indica el contenido de azúcares en base húmeda y se expresa como grados brix o por ciento de peso (% p/p) (Foolad, 2007).

Por la relación que guarda el contenido de (SST) con el sabor y con la calidad de su procesamiento, otro de los objetivos del mejoramiento de jitomate es el incremento de los valores de este parámetro (Foolad, 2007). Para alcanzar esta meta se ha recurrido a introgresiones de frutos de la especie *Lycopersicon pennellii* en jitomate cultivado *Lycopersicon esculentum*. Los frutos de las especies silvestres de *Lycopersicon* pueden alcanzar hasta 15% de SST respecto al peso fresco de la fruta, cantidad que es 3 veces mayor a la que se encuentra en las variedades cultivadas (Fridman *et al.*, 2000).

Los híbridos modernos de jitomate se han obtenido anteponiendo el rendimiento, tamaño de fruto, firmeza, resistencia a enfermedades y rendimiento para procesamiento, pero no aspectos sensoriales de la calidad de la fruta, principalmente el sabor y el aroma (Lecomte *et al.* 2004a). En este sentido, algunos investigadores han señalado una correlación negativa entre contenido de sólidos solubles totales y el peso del fruto, situación que ha limitado el mejoramiento en función de características sensoriales (Foolad, 2007; Lecomte *et al.* 2004b)

Las especies silvestres de *Lycopersicon* tienen un importante potencial genético para una mayor acumulación y/o incorporación de sólidos solubles al fruto ya que muchos fenotipos producen frutos con concentraciones de sólidos solubles superiores a las de variedades cultivadas (Fridman *et al.*, 2000; Carrari y Fernie, 2006). Al respecto, Lecomte *et al.* (2004a), señalan que es posible incrementar significativamente el contenido de SST sin disminuir el tamaño de los frutos, principalmente cuando se utilizan especies silvestres en la obtención de híbridos; es decir, la calidad de jitomate podría ser ampliamente mejorada genéticamente aumentando el contenido de azúcares y de ácidos.

Por su elevado metabolismo, el jitomate se clasifica como un producto altamente perecedero, situación que limita su vida postcosecha (Damasceno *et al.* 2003). El fruto presenta una intensa actividad respiratoria y, por su alto contenido de agua (94%) resulta altamente sensible a pérdidas de peso y problemas de marchitamiento; asimismo son propensos a la acción de etileno, ataque de microorganismos causantes de pudriciones y daños mecánicos (Artés y Artés, 2004). Se ha reportado que por los factores anteriores se presentan altas pérdidas postcosecha, situándose estas hasta en un 50% de la producción total, aún en países desarrollados (Bombelli y Wright, 2006).

La vida de anaquel es un atributo fundamental para el mercado de jitomate y está directamente vinculado con la actividad enzimática durante la maduración, especialmente con el cambio en firmeza, que a su vez reduce la resistencia a infecciones microbianas e incrementa la susceptibilidad a daños físicos (Moore *et al.*, 2002; Carrari y Fernie, 2006). El ablandamiento influye significativamente en el manejo postcosecha, principalmente en la resistencia al transporte, tiempo de almacenamiento y en la vida de anaquel (Chaib, *et al.* 2007); y provoca pérdidas costosas, tanto para el productor como para el consumidor (Bourgault y Bewley, 2002).

La maduración produce cambios en los componentes de la pared celular como consecuencia de su metabolismo lo que ocasiona alteraciones en la estructura de la cutícula. Estos cambios coinciden con el colapso de los tejidos derivado de la disminución de turgencia por la pérdida de agua debida a la transpiración. La cutícula es una matriz bajo tensión que regula la transpiración

de las frutas, las características específicas de su composición determinan la pérdida de agua en cultivares de jitomate (Saladie *et al.* 2007).

Los jitomates se consumen habitualmente en fresco, cuando han desarrollado su máxima calidad organoléptica que tiene lugar cuando el fruto está completamente rojo, pero antes de un excesivo ablandamiento, por lo que las características externas están relacionadas con el grado de madurez de los frutos (López y Gómez 2004).

Las pérdidas en firmeza se producen durante las primeras etapas de la maduración del fruto (Chaib *et al.*, 2007), debido a los cambios significativos en los componentes de la pared celular y a una gran cantidad de enzimas que degradan los polisacáridos (Moore *et al.*, 2002; Bourgault y Bewley, 2002); la hidrólisis de la pectina tiene un efecto negativo en la vida de anaquel (Carrari y Fernie, 2006). La reducción de la firmeza también está vinculada con cambios en el tejido del pericarpio (Saladie *et al.*, 2007), incluso existe correlación entre la firmeza y la estructura celular del pericarpio del fruto (Chaib *et al.*, 2007).

La disminución de la firmeza en los frutos es causada por los siguientes factores: la disolución de la pectina; la depolimerización y solubilización de hemicelulosa y polisacáridos pécticos de la pared primaria, pared secundaria y lámina media, que ocasiona la ruptura de la pared celular y reduce la adhesión y la rigidez (Bourgault y Bewley, 2002; Chaib, *et al.* 2007). Al romperse la pared celular se causa la acción de múltiples proteínas/enzimas que actúan en múltiples componentes estructurales (Saladie *et al.* 2007).

Existe un gran número de enzimas relacionadas con el metabolismo de la pared celular. La endo- β -poligalacturonasa cataliza la despolimerización de la pectina en la pared y lámina media y su actividad aumenta drásticamente con la maduración, sin embargo, no es primordial en el ablandamiento del fruto (Carrari y Fernie, 2006; Saladie *et al.*, 2007). La endo- β -manasa es la encargada de hidrolizar los glucomanos presentes en las paredes celulares y la actividad de esta enzima aumenta en tejidos externos durante la maduración y juega un papel importante en el ablandamiento del fruto (Bourgault y Bewley, 2002). La endo- β -1,4-gluconasa degrada la carboximetilcelulosa, y su actividad está asociada con el ablandamiento durante la maduración.

Otras enzimas rompen las moléculas de xiloglucano en la pared celular durante la maduración de frutos de jitomate (Carrari y Fernie, 2006).

La vida de anaquel, al igual que la firmeza, son atributos de los que dependen las preferencias de los grandes intermediarios (exportadores, importadores, distribuidores, mayoristas y minoristas), así como del consumidor final (Artés y Artés, 2004). Para determinar la firmeza se han usado mediciones instrumentales con el fin de evaluar las propiedades mecánicas de los tejidos (Chaib *et al.*, 2007).

El sabor del jitomate depende del balance entre el contenido de azúcar y de ácidos (Causse *et al.*, 2002); dado que existe una correlación positiva entre la magnitud del sabor y el porcentaje de los SST (Gómez y Camelo, 2002; Ruiz, *et al.*, 2005), el sabor es evaluado por mediciones de sólidos solubles, pH, acidez titulable y la relación SST/acidez (Gómez y Camelo, 2002). El sabor del jitomate es influenciado por la variedad, el régimen de nutrición de las plantas, el grado de madurez al momento de la cosecha y las condiciones de conservación postcosecha (Causse, *et al.*, 2002).

La concentración de sólidos solubles es la cantidad de compuestos presentes en el extracto de los frutos. Los azúcares y los ácidos orgánicos representan aproximadamente el 60% de la materia seca (Ruiz *et al.*, 2005); la fructosa y la glucosa son los azúcares más abundantes, los ácidos más cuantiosos son el málico y el cítrico. La concentración de sólidos solubles varía en relación al contenido de agua en los frutos (Gómez y Camelo, 2002; Martínez-Barajas, 2003). La variación en la concentración de SST se debe a un aumento significativo en azúcares en forma de hexosas (glucosa y fructosa), pero no en ácidos (Fridman *et al.*, 2000). Los frutos de jitomate pueden acumular azúcares en forma de sacarosa o hexosas, dependiendo de las condiciones ambientales y la etapa de crecimiento de la planta (Davies y Hobson, 1981; Martínez-Barajas, 2003).

La acumulación de azúcares tiene lugar cuando el fruto ha completado su crecimiento y desarrollo; durante la maduración se conserva la capacidad de transporte de fotosintatos, por lo que los frutos pueden alcanzar mayor calidad cuando maduran en la planta. En etapas avanzadas de desarrollo del fruto, la actividad de la enzima fructocinasa disminuye limitando la capacidad

para metabolizar fructosa; sin embargo los frutos de algunas poblaciones silvestres tienen mayor capacidad para incorporar fructosa y glucosa (Martínez- Barajas, 2003). En variedades silvestres, como *L. Penelli*, se ha encontrado la enzima apoplástica invertasa que hidroliza sacarosa (Ferne y Schauer, 2009), por lo cual puede tener mayor transporte de sacarosa y acumular cantidades superiores de azúcares en los frutos (Baxter *et al.*, 2005; Carrari y Fernie, 2006).

Los ácidos orgánicos no son sólo importantes por su efecto sobre el sabor del fruto, sino también por sus efectos en los procesos de industrialización, ya que además de los ácidos cítrico y málico se pueden encontrar el fórmico, el acético y el transaconítico en bajas concentraciones. La acidez del jitomate depende en gran medida de la variedad y los valores más altos se presentan durante la maduración con la aparición del color rosado, para después reducirse progresivamente. (Nuez, 2001; Foolad, 2007)

El pH es una medida más objetiva del sabor agrio que la acidez titulable (Stevens, *et al.*, 1977), la relación entre estos dos rasgos es compleja pues algunos amortiguadores de pH pueden influir en ella, por lo cual es conveniente medir ambos parámetros (Saliba-Colombani *et al.* 2001). Los valores más bajos de pH reducen el riesgo de crecimiento de patógenos en productos de jitomate. El crecimiento de *Bacillus coagulans* es completamente inhibido en un valor inferior a 4.1; la acidez no presentaría ningún efecto significativo si el pH es superior a este valor; un pH inferior a 4.5 y 0.35 % de ácido cítrico son deseables en la fruta (Foolad, 2007).

El color externo en frutos maduros de jitomate resulta de la pigmentación del epicarpio y durante la maduración los cambios son más visibles. El color es un indicador del grado de madurez del fruto y en base a él se han desarrollado cartas de color y escalas para la clasificación de los estados de madurez (Vilas *et al.*, 1999). El color es un atributo importante ya sea para consumo en fresco o para procesamiento. Para consumidores de jitomate fresco esta característica puede ser decisiva en la preferencia, en tanto que en la industria determina los grados y estándares del producto terminado (Foolad, 2007).

Los dos grupos principales de pigmentos presentes en los frutos de jitomate incluyen a los carotenos y las clorofilas. El color de los frutos al alcanzar la madurez de consumo está

condicionado por la cantidad total y concentración de los diferentes carotenoides (Carrari y Fernie, 2006; Foolad, 2007). Particularmente, el licopeno y el β -caroteno, representan los componentes primarios de la pigmentación de la fruta madura (Giovannoni, 2004). El licopeno es el pigmento que provee el color rojo al jitomate y es el carotenoide que se encuentra en mayor cantidad (Foolad, 2007). Los pigmentos de los frutos maduros de jitomate, además de ser atractivos para los consumidores, tienen efectos benéficos para la salud humana, entre los que se incluyen la protección contra algunos tipos de cáncer, y sus deficiencias pueden causar ceguera (Mayne, 1996). Los carotenoides son nutrientes que no pueden ser sintetizados de *novo* en el cuerpo humano (Carrari y Fernie, 2006).

La concentración de licopeno aumenta con la maduración de los jitomates, cuando los cloroplastos cambian a cromoplastos y la síntesis del licopeno aumenta causando el desarrollo de color rojo (Arias *et al.*, 2000). Entre variedades de jitomate se encuentran diferencias en la concentración de licopeno; el contenido de este compuesto puede ser incrementado por las condiciones ambientales, las prácticas agrícolas y la nutrición de las plantas (Raffo *et al.*, 2002). Entre las condiciones ambientales más importantes se encuentran la temperatura y la intensidad de la luz, ya que temperaturas inferiores a 12°C y superiores a 32°C inhiben a los precursores de licopeno y por lo tanto la producción de este caroteno; temperaturas de 22 a 25°C son favorables para la producción de licopeno y ésta puede ser mayor por la luz solar (Lumpkin, 2005).

La ingesta de carotenoides es importante para la salud, debido a que se asocia con la reducción del riesgo de ciertos tipos de cáncer, la arterioesclerosis y la formación de cataratas. El β -caroteno tiene actividad como provitamina A; el licopeno actúa como antioxidante, anticancerígeno y antimutagénico; y la luteína reduce el riesgo de cáncer de pulmón (Arias *et al.*, 2000; Binoy *et al.*, 2004). Por esta razón, se recomienda el aumento de los niveles de licopeno dietético por muchos expertos en salud humana (Lumpkin, 2005).

El licopeno tiene actividad antioxidante fuerte y presenta la mayor actividad antioxidante entre todas las sustancias de este tipo. Además de estas propiedades, se ha demostrado que el licopeno induce a la comunicación celular, y modula a las hormonas, el sistema inmunológico y a otras rutas metabólicas (Binoy *et al.*, 2004).

Gran parte del mejoramiento genético se basa en el análisis de mutantes con funciones perdidas o anormales. Sin embargo, la variación de mayor interés es a menudo heredada cuantitativamente, originada en poblaciones naturales, y está asociada con funciones de regulación (Fridman *et al.*, 2000). También, se puede encontrar una amplia variación en muchos rasgos de calidad en las progenies de jitomate; por ejemplo, se han detectado loci de características cuantitativas (QTL's) para calidad, como en el caso de los sólidos solubles totales, aunque esta característica está correlacionada con otros atributos de calidad. (Causse *et al.*, 2002).

Las diferencias fenotípicas en el contenido de sólidos solubles totales en frutos de jitomate, es frecuentemente heredada cuantitativamente, se originan en poblaciones naturales y están asociadas con funciones de regulación. Muchas de las alteraciones que se observan, como en la concentración de sólidos solubles o el rendimiento, es probable que sean el resultado de alteraciones en el metabolismo primario de carbono (Fridman *et al.* 2000).

Un mecanismo atípico en las líneas con mayor concentración de sólidos solubles, provoca las diferencias. Los cambios en la expresión génica están relacionados con las vías involucradas en la movilización de sacarosa y la respiración; por ejemplo, se ha identificado un alelo que codifica una enzima que permite el movimiento de sacarosa del floema hacia tejidos del fruto. Hay otros mecanismos que aumentan el suministro de azúcar hacia el fruto, como el incremento de fotosíntesis, la mayor exportación de fotoasimilados de la hoja, la mayor eficiencia en la carga y descarga del floema, el aumento de la captación de sacarosa en el fruto; es posible que estos mecanismos sean comunes en las plantas con altos valores de grados brix. De esta forma, las diferencias en la expresión de los genes podrían reflejar diferencias fenotípicas (Baxter *et al.*, 2005).

La evaluación de las características físicas y químicas pueden ser un método alternativo para medir la calidad, aunque también se cuenta con los marcadores moleculares (Saliba-Colombani, *et al.*, 2001), ya que la variación genética de la calidad ha sido atribuida a la acción combinada de muchos genes (QTL's). Los QTL's se han utilizado para localizar regiones genómicas que controlan las características asociadas con la calidad de procesamiento del jitomate. En este sentido, se han detectado QTL's para peso de fruta, contenido de sólidos solubles, pH, color, y

textura y sus componentes, como firmeza y consistencia, tanto en poblaciones segregantes como en cruzas interespecíficas (Causse *et al.*, 2002; Chaib *et al.*, 2007). La obtención de híbridos de alto valor comercial ha usado la heterosis como un instrumento viable (Vilas *et al.*, 1999).

3. Diversidad en el jitomate mexicano

El centro de origen del jitomate (*Lycopersicon esculentum*,) se ubica en la región andina que actualmente abarca parte de Chile, Bolivia, Ecuador, Colombia y Perú (Bai y Lindhout, 2007). En esta región es posible encontrar todas las especies silvestres (Rick, 1975 y Jenkis, 1948). En tanto que, el centro de domesticación y diversificación del jitomate rojo cultivado se ubica en México, porque existe una gran variabilidad morfológica, además de evidencias lingüísticas, arqueológicas y etnobotánicas (Rick 1975; 1979). Actualmente se encuentra mayor diversidad de variedades cultivadas (Greenpeace, 2000).

La domesticación de jitomate fue uno de los eventos más determinantes y rápidos en la evolución de la especie silvestre a domesticada, este proceso provocó cambios drásticos en la anatomía de la especie, de acuerdo a la perspectiva humana e incluso algunas partes de la planta han llegado a ser exageradas (Nesbitt y Tanksley 2002). La domesticación también generó una amplia gama de formas, tamaños y colores en los frutos de las especies cultivadas (Foolad, 2007). Inclusive se modificó el sistema de reproducción tornándose autogama, ya que los estigmas de la flor se insertaron, por lo que la mayoría de las especies cultivadas son esencialmente puras (Rick 1979). La mayoría de estos cambios se atribuyen a la selección en unos pocos loci durante la evolución del cultivo (Nesbit y Tanksley, 2002).

En el proceso evolutivo del jitomate varios cuellos de botella ocasionaron la uniformidad genética, por ejemplo, la restricción en el tamaño de la población durante la migración de especies silvestres de la región andina a México, la presión de selección durante la domesticación y el limitado número de materiales en su transporte a Europa, la autogamia forzada por la falta de polinizadores adecuados en las regiones no nativas de la especie, y finalmente el moderno proceso de mejoramiento (Rick, 1975). Como resultado, el jitomate cultivado actual contiene menos de 5% de la variación genética contenida en las poblaciones

silvestres (Miller y Tanksley, 1990), y el polimorfismo en el acervo genético del jitomate cultivado es limitado (Canady *et al.*, 2006).

La variabilidad genética o diversidad genética es causada por variaciones heredables que ocurren en los organismos, entre los individuos de una población y entre las poblaciones dentro de una especie (Piñero *et al.*, 2008). La diversidad genética representa el mecanismo biológico que permite la adaptación de los cultivos a los cambios ambientales (Greenpeace, 2000). Una limitada variabilidad provoca vulnerabilidad a enfermedades y plagas específicas al cultivo (Tanksley y Mc Couch, 1997).

La conservación de la diversidad se ha centrado en las especies silvestres, aunque en las variedades tradicionales o locales se encuentra la mayor parte de la diversidad genética de las especies cultivadas (Camacho *et al.*, 2006). Las variedades locales no suelen estar catalogadas en registros oficiales y generalmente no se dispone de semilla en grandes cantidades. Las variedades modernas o híbridos pueden desplazar a las variedades nativas, ya que los agricultores pueden perder sus reservas de semilla tradicional para siempre, con solo usar un año las variedades comerciales (Greenpeace, 2000).

El mejoramiento genético requiere diversidad alélica o una base genética amplia para explorar rasgos deseables y desarrollar cultivares nuevos con características novedosas (Greenpeace, 2000; Canady *et al.*, 2006); no obstante, la reducción de la variabilidad pone en peligro el potencial para el mejoramiento sostenido a largo plazo (Tanksley y Mc Couch, 1997).

Las nuevas variedades son generalmente derivadas de cruces entre híbridos modernos genéticamente relacionados (Tanksley y Mc Couch, 1997), situación que reduce la posibilidad de éxito. Para el mejoramiento genético se ha usado como fuente de variación genética de nuevos caracteres cuantitativos (QTL), germoplasma silvestre menos emparentado con las variedades cultivadas. Por ejemplo, para la obtención de resistencia a enfermedades o la de características novedosas (Monforte *et al.*, 2001; Fernie *et al.*, 2006). Sin embargo, la introgresión de genes de especies exóticas puede estar limitada por diferentes barreras que impiden la transferencia de genes (Canady *et al.*, 2006).

A pesar del amplio uso de las variedades modernas en la agricultura intensiva, en algunas regiones, en particular en los centros de diversidad o de origen se usan aún variedades nativas (Fernie *et al.*, 2006; Mercer y Perales, 2010), generalmente denominadas criollos. Estas variedades tienen un alto nivel de variación intraespecífica que refleja un largo proceso de coevolución entre el cultivo y el manejo humano (Bellon *et al.*, 2003); y algunas de ellas son visiblemente diferentes en su composición genética entre poblaciones o incluso dentro de ellas (Cleveland *et al.*, 1994).

Las variedades nativas o locales son poblaciones dinámicas muy heterogéneas en comparación con los cultivares modernos y poseen una amplia variabilidad fenotípica (Camacho *et al.*, 2006). La variabilidad se introduce permanentemente por el libre intercambio de materiales entre comunidades y por la selección (Lobo, 2009). En las variedades nativas existe diversidad genética que se ha generada a través del tiempo por los agricultores, el medio ambiente y los procesos evolutivos (Mercer y Perales, 2010) y sus interacciones.

Las variedades nativas se encuentran en etapas tempranas de domesticación y poseen características de rusticidad. En este germoplasma la selección no se basa en la obtención de uniformidad sino en sus múltiples usos, sabores especializados y preferencias en la preparación de comidas, almacenamiento y nutrición, o bien en cualidades históricas o culturales. Estas condiciones permiten gran diversificación, mediante la estrategia de uso múltiple (Fernie *et al.*, 2006). La variabilidad contribuye a su adaptación a condiciones estresantes, tanto bióticas como abióticas, ya que las poblaciones nativas dependen de los recursos locales y los sistemas agrícolas en que se cultivan (Mercer y Perales, 2010).

Las poblaciones nativas tienen un origen histórico e identidad propia, están basadas en un profundo entendimiento de los elementos y las interacciones de la vegetación, y no han sido objeto de mejoramiento formal (Camacho *et al.*, 2005). Las poblaciones de las variedades criollas son mezclas de varias líneas genéticas, que evolucionaron pero que difieren en su respuesta a diferentes condiciones limitantes, biológicas o no (Harlan, 1976). Muchas poblaciones llegan a tener buen rendimiento a pesar de la competencia con malezas o por las malas condiciones del suelo. Con ellas es posible tener un periodo de producción escalonado,

pues las producciones son a pequeña escala y descentralizadas. Las variedades nativas y silvestres contienen una amplia representación de la variación natural en la especie, que satisface nichos de mercado específicos, y conservan los recursos naturales (Ferne *et al.*, 2006; Mercer y Perales, 2010).

Las variedades locales presentan como ventaja en relación a las variedades mejoradas los altos niveles de variación genética, atributo que les confiere alta capacidad adaptativa. En contraste, las variedades modernas son totalmente dependientes del cuidado humano y no pueden sobrevivir en condiciones adversas (Prakash, 2001). Las variedades nativas pueden amortiguar cambios en las condiciones climáticas sin alterar las frecuencias genéticas pues se mantienen en buen estado y pueden seguir produciendo sin cambios, ya que pueden ajustar su fenotipo gracias a su amplia base genética (Mercer y Perales, 2010).

Las variedades nativas pueden ser utilizadas como fuentes de germoplasma para el mejoramiento de atributos bioquímicos (Agong *et al.*, 2001). En jitomate, las especies silvestres son poco explotadas, a pesar de ser una rica fuente de genes deseables (Foolad 2007); la introgresión de genes silvestres en el genoma de las especies cultivadas puede provocar la pérdida de características agronómicas, por el arrastre de genes ligados con efectos indeseables (Monforte *et al.*, 2001). Sin embargo, se han incorporado características morfológicas o de composición química de líneas de *S. pennelli* y otras especies silvestres (Ferne *et al.*, 2006).

El conocimiento de este germoplasma puede contribuir a la planificación racional de programas de mejoramiento, que permita optimizar el uso del material genético, en la selección y ampliación de la base genética de los cultivares modernos. A pesar del potencial genético de este germoplasma como fuente de variabilidad, la falta de información sobre el origen, la genealogía, las características agronómicas y la constitución genética de las variedades locales, ha limitado su uso en los programas de mejoramiento (Carreli y Ferne, 2006).

La incorporación de germoplasma de especies silvestres ha permitido el desarrollo de los modernos cultivares de jitomate. Por ejemplo, se han creado con éxito híbridos mediante cruzamientos con *L. hirsutum* para mejorar el rendimiento, el contenido de sólidos solubles y el

color de los frutos (McCouch y Tanksley, 1997). Con regiones genómicas de *S pennellii* se puede incrementar el rendimiento en condiciones de estrés (Gur y Zamir 2004); aumentar el contenido de sólidos solubles totales (Baxter *et al.*, 2005), y mejorar el contenido de carotenoides, particularmente de licopeno. *S. chmielewskii* se ha empleado para incrementar el contenido de azúcar (Fernie *et al.*, 2006). La introducción de genes de *L pimpinellifolium* ha permitido incrementar el tamaño de la fruta (Lippman y Tanksley *et al.*, 2001);

4. Poblaciones nativas de México

En la actualidad es posible encontrar poblaciones nativas cultivadas en diferentes regiones agrícolas del país, así como poblaciones silvestres, con amplia variabilidad fenotípica, sabores y usos especializados, así como con alta capacidad adaptativa. Su conservación *in situ* durante múltiples generaciones les ha permitido mantener un alto grado de heterogeneidad, y adaptación a los recursos del lugar y a los sistemas agrícolas tradicionales. Estos factores ha favorecido el mantenimiento de formas, colores y sabores típicos.

La combinación de factores como las múltiples condiciones climáticas en el país, las diferencias en el relieve y otros factores del medio que confluyen, así como la riqueza cultural e histórica de la población, han generado numerosos genotipos a partir de la adaptación y selección. La combinación de estos elementos ha promovido una amplia variación en morfología, respuestas fisiológicas y fenológicas de planta; tamaños y formas de fruto; distribución de la producción; vida de anaquel y calidad; y por lo tanto, un amplio potencial para la mejora del color, sabor y textura de las actuales variedades comerciales (Ramírez, 2010).

En las poblaciones nativas se observan diferencias morfológicas significativas de acuerdo a su origen geográfico, incluso en estado de plántula, lo que puede obedecer a los diferentes grados de adaptación (Moreno y Ramírez, 2007; Salgado *et al.* 2008). La variabilidad entre y dentro de lugares de origen en características cuantitativas y cualitativas de fruto y planta es amplia (Rodríguez *et al.*, 2006). Una amplia variación morfológica en acervos del Centro y Sur de México se encontró en peso de fruto, grosor de pericarpio, días a madurez de cosecha, número de frutos, longitud de la planta, diámetro de tallo, número de entrenudos hasta la primera

inflorescencia, y longitud de pétalos, sépalos y estilo. En poblaciones nativas, tanto silvestres como cultivadas, se encuentran adaptaciones morfológicas que favorecen la polinización cruzada (estigma expuesto sobre la columna estaminal), que mantienen y promueven la variación fenotípica y genética (Moreno *et al.*, 2008; Moreno *et al.*, 2010). De la misma manera, Carrillo y Chávez, (2010) encontraron diferencias significativas en características fenológicas y morfológicas de planta, tallo, hoja flores y frutos en poblaciones nativas semidomesticadas y silvestres de Oaxaca.

Las características que definen la calidad del fruto también presentaron diferencias significativas, Colchado (2009), encontró que los frutos de algunas poblaciones nativas presentan mayor aceptación que los híbridos al igual que Muñoz (2010); debido a la diferencia en sabor de las poblaciones nativas de jitomate. En tanto que, Urrieta *et al.* (2008) encontraron que las poblaciones nativas responden mejor a diversas concentraciones de fertilizante, condición que se refleja en la calidad del fruto, que fue superior a la de los híbridos. También, poblaciones nativas de tipo cereza han mostrado características sobresalientes de calidad, como contenido de licopeno, superiores a un híbrido comercial en diferentes condiciones de fertilidad (Juárez-López *et al.* 2009). Finalmente, en Oaxaca se encontraron poblaciones silvestres de calidad sobresaliente (Crisanto *et al.* 2010).

El germoplasma mexicano por su origen, adaptación y cultivo, y amplia variabilidad, ofrece grandes oportunidades para ser aprovechado en el desarrollo de nuevas variedades. Sin embargo muchas de las poblaciones nativas no han sido caracterizadas ni documentadas, lo que las hace vulnerables a la pérdida, así como a un aprovechamiento limitado. De esta manera, es posible encontrar formas típicas en cada región, que no han sido caracterizadas ni documentadas, y que como otros recursos genéticos nacionales se encuentran en riesgo de ser perdidos por abandono y sustitución, así como por la posible contaminación con germoplasma transgénico lo que provocaría la pérdida de su valor intrínseco de calidad e identidad genética. La identificación de nuevos cultivares con rasgos novedosos o de cualquier otro interés humano es necesaria para alcanzar la seguridad e independencia alimentaria.

HIPÓTESIS

El presente estudio se desarrollo para evaluar las hipótesis siguientes:

Existen diferencias en las características que definen la calidad externa a los frutos de las poblaciones nativas y los híbridos comerciales que actualmente se ofertan.

Existen diferencias en las características que definen la calidad interna de los frutos de las poblaciones nativas y los híbridos comerciales que actualmente se ofertan.

Los orígenes de las poblaciones nativas, son determinantes para la calidad del fruto en poblaciones nativas de jitomate.

OBJETIVOS

El objetivo general de este estudio fue determinar la variación en la calidad externa e interna, del fruto de jitomate de poblaciones provenientes nativas originarias de 8 acervos regionales de México.

Objetivos particulares

Evaluar la diversidad en características que definen la calidad externa de los frutos de acervos y poblaciones nativas de jitomate.

Evaluar la diversidad en características que definen la calidad interna de los frutos de acervos y poblaciones nativas de jitomate.

Evaluar las diferencias en la calidad interna y externa del fruto entre acervos y poblaciones nativas de jitomate.

LITERATURA CITADA

- Adalid, A. M., S. Roselló y F. Nuez. 2007. Mejora de la calidad nutritiva en tomate: búsqueda de nuevas fuentes de variabilidad con alto contenido en carotenoides y vitamina C. XI Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas. Albacete, España. 121-124.
- Agong, S. G., S. Schittenhelm y W. Friedt. 2001. Genotypic variation of Kenyan tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) germplasm. The Journal of Food Technology in Africa. 6:13-17.
- Anza, M. y P. Riga. 2007. Efecto de la variedad y de la época de cultivo en la calidad organoléptica y nutricional del tomate. XI Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas. Albacete, España. 909-913 pp.
- Artés, F. y F. Artés-Hernández. 2004. Tratamientos postrecolección del tomate fresco. Tendencias e innovaciones. En: Tomates. Producción y comercio. Ediciones de Horticultura S.L. Reus (España). Capítulo 10: 109-120.
- Bai, Y. and 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.
- Baxter CJ, Carrari F, Bauke A, Overy S, Hill SA, Quick WP, Fernie AR, Sweetlove LJ: Fruit carbohydrate metabolism in an introgression line of tomato with increased fruit soluble solids. Plant Cell Physiol 2005, 46:425-437.
- Bellon M R, J Berthaud, M Smale, J. A Aguirre, S Taba, F Aragón, J Díaz, y H Castro, .2003. Participatory landrace selection for on farm conservation: an example from the Central Valleys of Oaxaca, Mexico. Genetic Resources and Crop Evolution. 50: 401–416.
- Binoy, G., C. Kaur, D. S. Khudiya, H. C. Kapoor. 2004. Antioxidants in tomato (*Lycopersicon esculentum*) as a function of genotype. Food Chemistry 84: 45-51.
- Bombelli C E, R E Wright. 2006. Efecto del bicarbonato de potasio sobre la calidad del tomate y acción sobre *Botrytis cinerea* en poscosecha. Ciencia e Investigación Agraria. 33:197-203.
- Bourgault R. y J. D. Bewley. 2002. Variation in its C-Terminal amino acids determines whether endo β -Mannanase is active or inactive in ripening tomato fruits of different cultivars. Plant Physiology. 130: 1254-1262.
- Camacho, V. T., N. Maxted, M. Sholten y B Ford-Lloyd. 2006. Defining and identifying crop landraces. Plant Genetic Resources. 3:373-384.

- Canady, M. A., Y. Ji, R. T. Chetelat. 2006. Homeologous recombination in *Solanum lycopersicoides* introgression lines of cultivated tomato. *Genetics* 174: 1775–1788.
- Carrari, F., y A. R. Fernie. 2006. Metabolic regulation underlying tomato fruit development. *Journal of Experimental Botany*. 57:1883–1897.
- Carrillo, R. J. C. y J. L. Chávez S. 2010. Caracterización agromorfológica de muestras de tomate de Oaxaca. *Fitotecnia Mexicana*. 33:1-6
- Causse, M., V. Saliba-Colombani, L. Lecomte, P. Duffe P. Rousselle y M. Buret. 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.
- Chaib, J., M. F. Devaux, M. G. Grotte, K. Robini, M. Causse, M. Lahaye y I. Marty. 2007. Physiological relationships among physical, sensory, and morphological attributes of texture in tomato fruits. *Journal of Experimental Botany*. 58:1915–1925, 2007.
- Cleveland, D.A., D. Solieri y S. E. Smith. 1994. Do folk crop varieties have a role in sustainable agriculture? *BioScience* 44:740-751
- Colchado, M. S. 2009. Patrones de maduración postcosecha en poblaciones nativas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Chapingo, México
- Crisanto-Juárez A. U., A. M. Vera-Guzman, J. L. Chávez-Servia y J. C. Carrillo-Rodríguez. 2010. Calidad de frutos de tomates silvestres (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme* Dunal) de Oaxaca, México. *Fitotecnia Mexicana*. 33: 7 – 13.
- Damasceno, S., V. S. Oliveira P., E. Moro, Jr E. K. Macedo, M. C. Lopes y N. M. Vicentini 2003. Efeito da aplicação de película de fécula de mandioca na conservação pós-colheita de tomate. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 23: 377-380.
- Davies, J. N., y G. E. Hobson. 1981. The constituents of tomato fruit-The influence of environment, nutrition and genotype. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 15:205-280.
- Dos Santos Jr., A. M, W. R. Maluf, M. V. Faria, Jr V. C. Andrade, I. R. Nascimento, R.G Benites, F., y L.A.A. Gomes, 2005. Produção, qualidade e conservação de tomates heterozigotos nos locos *alcobaça*, *nonripening* e *ripening inhibitor*. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 40:1203-1210.

- FAOSTAT. 2010. Dirección de Estadística. Disponible en:
<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>
- Fernie, R. A., Y. Tadmor and D. Zamir. 2006. Natural genetic variation for improving crop quality. *Current Opinion in Plant Biology*. 9:196-202.
- Foolad, R. M. 2007. Genome Mapping and Molecular Breeding of Tomato. *International Journal of Plant Genomics*. 2007:64358.
- Fridman, E., T. Pleban y D. Zamir. 2000. A recombination hotspot delimits a wild-species quantitative trait locus for tomato sugar content to 484bp within an invertase gene. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United State of America*. 97:4718-4723.
- Giovannoni, J. J. 2004. Genetic regulation of fruit development and ripening. *Plant Cell*. 16: 170-180.
- Giovannucci, E. 1999. Tomatoes, tomato-based products, lycopene, and cancer: review of the epidemiologic literature. *Journal of the National Cancer Institute*. 91:317-331.
- Gómes, P. A. y. F. L. Camelo A. 2002. Calidad postcosecha de tomates almacenados en atmósferas controladas. *Horticultura Brasileira*. 20: 38-43.
- Grandillo, S., H. Ku y S. D. Tanksley. 1999. Identifying the loci responsible for natural variation in fruit size and shape in tomato. *Theoretical and Applied Genetics*. 99:978-987.
- Grandillo, S., H. Ku y S. D. Tanksley. 1996. Characterization *offs8.1*, a major QTL influencing fruit shape in tomato. *Molecular Breeding*. 2:251-260.
- Greenpeace 2000. Centros de Diversidad. La riqueza biológica de los cultivos tradicionales, herencia mundial amenazada por la contaminación genética. Informe de Greenpeace elaborado por van Aken, J. Greenpeace México, kinética buró creativo/Elsa Marin. México, D. F. p 32-34.
- Gur A y D. Zamir Unused natural variation can lift yield barriers in plant breeding. *PLoS Biol* 2004, 2:e245.
- Harlan, J. R. 1976. "Genetic Resource in Wild Relatives of Crops", *Crop Sci.*, 16:329-333.
- Jenkins, J. A. 1948. The origin of the cultivated tomato. *Economy Botany*. 2:379-392.
- Juárez-López, P., R. Castro-Brindis, T. Colinas-León, P. Ramírez-Vallejo, M. Sandoval-Villa, D. W. Reed, L. Cisneros-Ceballos y S. King. 2009. Evaluación de la calidad en frutos de siete genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15(2):5-9.

- Labate, J. A., *et al.* 2007. Tomato. In: Genome mapping and molecular breeding in plants. Vol 5 Vegetables. Ed: C K Springer-Verlag. Berlin, Alemania. p1-125.
- Lecomte, L., A. Gautier, A. Luciani, P. Duffé, F. Hospital, M. Buret y M. Causse. 2004(a). Recent advances in molecular breeding: the example of tomato breeding for flavor traits. *Acta Horticulturae*. 637:231-242.
- Lecomte, L., V. Saliba-Colombani, A. Gautier, M. C. Gomez-Jimenez, P. Duffé, M. Buret y M. Causse. 2004(b). Fine mapping of QTLs of chromosome 2 affecting the fruit architecture and composition of tomato *Molecular Breeding* 13:1–14.
- Lippman, Z. y S. D. Tanksley. 2001. Dissecting the genetic pathway to extreme fruit size in tomato using a cross between the small-fruited wild species *Lycopersicon pimpinellifolium* and *L. esculentum* var. Giant Heirloom. *Genetics*. 158: 413–422.
- López, C. A. F. y P. A. Gómez. 2004. Comparison of color indexes for tomato ripening. *Horticultura Brasileira*. 22:534-537
- Lumpkin, H. 2005. A comparison of lycopene and other phytochemicals in tomatoes grown under conventional and organic management systems. AVRDC-The World Vegetable Center. *Boletín técnico* 34. 48pp.
- Macías, M. A., 2003. Enclaves agrícolas modernos: el caso del jitomate mexicano en los mercados internacionales. *Región y Sociedad*. 15: 103-151.
- Mayne, S.T. 1996. Beta-carotene, carotenoids, and disease prevention in humans. *Federation of American Societies for Experimental Biology. Journal* 10, 690–701.
- Mercer, K. L. y H. R. Perales. 2010. Evolutionary response of landraces to climate change in centers of crop diversity. *Evolutionary Applications*. 3: 480–493.
- Miller, J. C. y S.D. Tanksley. 1990. RFLP analysis of phylogenetic relationships and genetic variation in the genus *Lycopersicon*. *Theoretical and Applied Genetics* 80:437-448.
- Monforte, A J, E. Friedman, D. Zamir y S. D. Tanksley. 2001. Comparison of a set of allelic QTL-NILs for chromosome 4 of tomato: Deductions about natural variation and implications for germplasm utilization. *Theoretical and applied Genetics*. 102:572–590
- Moore, S., J. Vrebalov, P. Payton y J. Giovannoni. 2002. Use of genomics tools to isolate key ripening genes and analyse fruit maturation in tomato. *Journal of Experimental Botany*. 53: 2023-2030.

- Moreno, R. Y. y P. Ramírez V. 2007. Morfología de plántulas de jitomate nativo (*L. esculentum*) de seis regiones de México. In Memoria de Resúmenes, Simposio de Recursos Genéticos para América Latina y el Caribe. Distrito Federal. México. 6 a 9 de mayo de 2007. Universidad Autónoma Chapingo y Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. pp.269.
- Moreno, R. Y., P. Ramírez V. y S Miranda C.. 2008. Diversidad morfológica de la flor de jitomate (*Lycopersicon esculentum* M.), en poblaciones de seis regiones del Centro y Sur de México. In: Memoria XXII Congreso Nacional y Segundo Internacional de Fitogenética. Chapingo, Estado de México, México. 21 a 26 de septiembre de 2008. SOMEFI. pp.330.
- Moreno, R. Y., P. Ramírez V., S. Miranda C. y C Saucedo V. 2010. Diversidad morfológica de poblaciones de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) nativo de siete regiones del Centro, Sur y Sureste de México. Agrociencia (Aceptado en Julio del 2010).
- Muñoz, M. A. 2010. Calidad nutricional y agroindustrial evaluada en cinco poblaciones nativas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Ingeniería Agroindustrial. Chapingo, México.
- Muñoz, R. M., J. R. Altamirano C., J. Carmona M., J. de D. Trujillo F., G. López C. y A Cruz A. 1995. Desarrollo de Ventajas Competitivas en la Agricultura: el caso del tomate rojo. Centro de Investigaciones Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y la Agricultura Mundial (CIESTAAM). Universidad Autónoma Chapingo. México. p. 4, 15-19.
- Nesbitt, T. C. y S. D. Tanksley. 2002. Comparative sequencing in the genus *Lycopersicon*: implications for the evolution of fruit size in the domestication of cultivated tomatoes. *Annals of Botany*. 100:893-901
- Nuez, F. 2001. El cultivo de jitomate. Mundi- Prensa. 793 pp.
- Ortega, P. R., M. A .Martínez A. y J. de J. Sánchez G. 2000. Recursos Fitogenéticos Autóctonos. In: P. Ramírez V., R. Ortega P., A. López H., F. Castillo G., M Livera M., F. Rincón S. y F. Zavala G. (eds). Recursos Fitogenéticos de México para la Alimentación y la Agricultura, Informe Nacional. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas y Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. Chapingo, México.
- Piñero, D., *et al.*, (2008). La diversidad genética como instrumento para la conservación y el aprovechamiento de la biodiversidad: estudios en especies mexicanas, en Capital natural de México, vol. I : *Conocimiento actual de la biodiversidad*. Conabio, México, p. 437-494.

- Prakash C S. 2001. The genetically modified crop debate in the context of agricultural evolution. *Plant Physiology* 126:8-15.
- Raffo, A., C. Leonardi, V. Flogiano, P. Ambrosino, M. Salucci, L. Gennaro, R. Bugianesi, F. Giuffrida y G. Quaglia. 2002. Nutritional value of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* cv. Naomi F1) harvested at different ripening stages. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 50: 6550-6556.
- Ramírez, V. P. (2010). Conservación y aprovechamiento de la diversidad de poblaciones nativas de jitomate. MEMORIA 6° Congreso Nacional de Horticultura, Producción de Tomate en el Norte de México. (ed) Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo. Coahuila. pp 116-124
- 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.
- Rick, C. M. and J. Fobes. 1975. Allozyme variation in cultivated tomato and closely related species. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*. 102: 376-384.
- Rodríguez, R. G., G. R. Pratta, R. Zorzoli y A. L. Picardi. 2006. Evaluation of plant and fruit traits in recombinant inbred lines of tomato obtained from a cross between *Lycopersicon esculentum* and *L. pimpinellifolium*. *Ciencia e Investigación Agraria*. 33:111-118.
- Rosales, V. M. A. 2008. Producción y calidad nutricional en frutos de jitomate cherry cultivados en dos invernaderos mediterráneos experimentales: respuestas metabólicas y fisiológicas. Tesis doctoral Universidad de Granada. España. 212 pp.
- Ruiz, J. J., A. Arancha, S. García-Martínez, M. Valero, P. Blasco and F. Ruiz-Bevia. 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.
- Saladie, M., A. J. Matas, T. Isaacson, M. A. Jenks, S. M. Goodwin, K. J. Niklas, R. Xiaolin, J. M. Labavitch, K. A. Shackel, A. R. Fernie, A. Lytovchenko, M. A. O'Neill, C. B. Watkins, y J. K. C. Rose. 2007. A reevaluation of the key factors that influence tomato fruit softening and integrity. *Plant physiology*. 144: 1012–1028.
- Salgado, Meraz L., P. Ramírez V., J Canul K. y M N Rodríguez G.. 2008. Diversidad genética de plántulas de poblaciones nativas de jitomate. In: Memoria Congreso XXII Congreso Nacional

- y Segundo Internacional de Fitogenética. Chapingo, Estado de México. México. 21 a 26 de septiembre de 2008. SOMEFI. pp.272.
- Saliba-Colombani V., M. Causse, D. Langlois, J.Philouze y M.Buret. 2001. Genetic analysis of organoleptic quality in fresh market tomato. 1. Mapping QTLs for physical and chemical traits. *Theoretical and Applied Genetics*. 102:259–272
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera SIAP. 2009. Produce México 39.5 Toneladas de Jitomate por cada Hectárea. Última actualización Junio de 2010:
http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=309:produce-mexico-54-toneladas-de-tomate-por-cada-hectarea&catid=6:boletines&Itemid=335.
- Stevens, M. A., A. A. Kader, M. Albright-Holton, y M. Algazi. 1977. Genotypic variation for flavor and composition in fresh market tomatoes. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 102:680–689.
- Urrieta, V. J. A., M. de las N. Rodríguez M., P Ramírez V., J A Santizo R., y L del M Ruíz P.. 2008. Calidad del fruto de tomate de costilla en postcosecha. In: Memoria Congreso XXII Congreso Nacional y II internacional de Fitogenética. México. Chapingo, Estado de México, México. 21 a 26 de septiembre de 2008. SOMEFI.
- Vilas, B. E.Vde B., A. Bosco C., W. R. Maluf, y M.I.Fernández C., 1999. Influência do alelo alcobaça em heterozigose sobre a vida de prateleira e qualidade pós-colheita de tomates. *Ciência e Agrotecnologia*. 23:650-657.
- Zapata, L. M, L. Gerard, C. Davies, M. del C. Sachbav. 2007. Estudio de los componentes antioxidantes y actividad antioxidante en tomates. *Ciencia, docencia y tecnología* 35:175-193.

CAPÍTULO II

CALIDAD EXTERNA DEL FRUTO EN ACERVOS NATIVOS DE JITOMATE MEXICANO

RESUMEN

Durante la maduración de los frutos de jitomate, ocurren complejos procesos de transformación que dan lugar a las características de calidad externa. La evolución del proceso de madurez está relacionada con el origen de las poblaciones, así como con la apariencia externa. Se evaluó la calidad externa con base en las características de firmeza, vida de anaquel, luminosidad, ángulo de tono, croma, índice de color y pérdida de peso, en poblaciones nativas originarias de ocho acervos, además de un grupo de materiales mejorados que incluyó al híbrido Caimán y 3 líneas derivadas.

Las poblaciones autóctonas tuvieron rasgos de calidad externa deseables en madurez de consumo como color, firmeza, vida de anaquel y tamaño. Las características de calidad externa constituyen elementos de diferenciación regional. Las poblaciones nativas tienen diversidad en los atributos de calidad externa que puede ser atribuida a los múltiples criterios de selección, y que en combinación a la amplia adaptación a las diversas condiciones bióticas y abióticas han generado variantes. Las poblaciones nativas representan una fuente de variación útil en esta especie, cuyo mejoramiento dirigido a la obtención de nuevas variedades con rasgos novedosos de valor comercial ha sido restringido por la escasa variabilidad genética presente en las variedades comerciales.

INTRODUCCIÓN

La diversidad biológica es un mecanismo que representa la oportunidad de adaptación a los cambios de condiciones ambientales (Greenpeace, 2000); y puede ser una fortaleza para enfrentar a las enfermedades y plagas (Tanksley y Mc Couch, 1997). Como resultado de los diferentes cuellos de botella impuestos durante la domesticación y evolución del cultivo, las plantas cultivadas actualmente contienen solo una fracción de la variación de los acervos genéticos (Ferne *et al.*, 2006)

En jitomate rojo cultivado (*Lycopersicon esculentum*), la domesticación y diversificación ocurrió en México (Rick y Fobes 1975; Rick 1979). Las condiciones ecológicas del país, particularmente la topografía y la fisiografía, además de la riqueza cultural, fueron el marco adecuado para que la divergencia de poblaciones pudiera ocurrir.

A diferencia de la uniformidad en las variedades comerciales (Rick y Fobes 1975), en las poblaciones nativas existe una gran variedad de formas, tamaños y colores que pueden ser rojos, anaranjados, verdes, amarillos o púrpuras. En esta versatilidad fenotípica es posible encontrar variedades locales con características de calidad similares a las variedades comerciales (García *et al.*, 2004; Maiti *et al.*, 2008). La variación cuantitativa que se mantiene en las poblaciones nativas se ha acumulado por largos períodos de tiempo ha sido la base para el mejoramiento genético convencional (Tanksley y Fulton, 2007).

La calidad se define como la combinación de atributos, propiedades o características que determinan el valor para el consumidor, con base en la satisfacción de sus necesidades. En jitomate, la calidad del fruto depende de múltiples componentes, tanto externos como internos. Entre ellos se consideran al tamaño, el peso, la vida de anaquel, y la forma y firmeza del fruto, y otros aspectos relacionados con el sabor, el aroma, la acidez, el contenido de sólidos solubles y de vitaminas (Nuez, 2001; Causse *et al.*, 2003).

Los atributos determinantes para la comercialización de esta hortaliza son externos, fundamentalmente el color y la firmeza (Rodríguez-Rodríguez *et al.*, 1989). El tamaño de los

frutos de jitomate no es un factor que define el grado de calidad, pero influye de manera importante en su venta (Suslow y Cantwell, 2000). La vida de anaquel también puede ser primordial para el mercado de jitomate, pues está vinculada con la pérdida de firmeza y con la subsecuente susceptibilidad a los daños (Artés y Artés-Hernández, 2004) y a las pérdidas que éstos ocasionan (Bombelli y Wright 2006).

En la actualidad los frutos de los nuevos genotipos de jitomate presentan deficiencias, sobre todo en la calidad interna, en gran medida por que la cosecha se realiza en un estado inmaduro para prolongar su vida de anaquel por lo que la vida postcosecha de los frutos es un carácter importante en la comercialización del fruto fresco (Rodríguez *et al.*, 2006). Las características de los frutos de las variedades modernas de jitomate no son del agrado de los consumidores, pues estos prefieren una firmeza intermedia (Causse *et al.*, 2003), además la amplia vida de anaquel se relaciona con un sabor menor (Jones, 1986; Baldwin *et al.*, 1991).

Entre los objetivos de la obtención de las nuevas variedades de jitomate se encuentra la calidad de los frutos, que depende de elementos como el peso, la forma, el contenido en sólidos solubles, la acidez, la firmeza, el color y la vida de anaquel; sin embargo, estas características han sido difíciles de obtener debido a la reducida base genética disponible (Saliba-Colombani *et al.*, 2001; Rodríguez *et al.*, 2006).

La maduración del jitomate cultivado, comprende una serie de eventos bioquímicos y fisiológicos, como la pérdida de firmeza; cambios de pigmentación, desarrollo de componentes del sabor, producción de etileno autocatalítico y climaterio (Grumer *et al.*, 1981). Los cambios más visibles durante la maduración son debidos al desarrollo del color (Vilas *et al.*, 1999), por esta razón, el color es una de las características externas más importantes para evaluar la madurez y la vida postcosecha. Los jitomates llegan a la madurez de consumo cuando los frutos están completamente rojos, antes de un excesivo ablandamiento, momento en que alcanzan su máxima calidad organoléptica (López y Gómez, 2004).

A pesar de la importancia del cultivo en México, no existe un programa de mejoramiento genético con base en las poblaciones nativas. Por lo que, los estudios de las características de

importancia agronómica y las relacionadas con la calidad de fruto en estas poblaciones son escasos. De esta manera, el potencial agronómico, comercial y genético que encierra este germoplasma se desconoce, aunque a nivel local y regional se reconoce su calidad y valor.

Esta investigación tiene como objetivo evaluar las características de calidad externa en frutos de jitomate en diferentes estados de madurez en poblaciones de ocho acervos genéticos de jitomate autóctono de México, bajo la hipótesis de que existe una amplia diversidad en los caracteres de calidad externa en los frutos de poblaciones de acervos genéticos de ocho regiones de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

1. Material biológico

Frutos de poblaciones nativas fueron colectados entre 2006 y 2008, en siete regiones del país ubicadas en los estados de Campeche, Yucatán, Oaxaca, Guerrero, Estado de México y Puebla (Sierra Norte y límites con Hidalgo). Las muestras se obtuvieron directamente de agricultores, en mercados regionales y en áreas de cultivo seleccionando muestras sobresalientes o típicas; las que forman parte del Programa de Conservación y Aprovechamiento de la Agrodiversidad Nativa de Jitomate, en el Posgrado de Recursos Genéticos y Productividad–Genética, en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados.

De cada región o acervo se evaluaron cinco poblaciones, excepto del acervo Estado de México del que únicamente se evaluó una. Los frutos de las poblaciones nativas se compararon con el híbrido comercial Caimán (Enza Zaden) de hábito indeterminado y fruto tipo bola, 2 poblaciones derivadas de variedades comerciales tipo saladette y una línea derivada tipo cereza (Cherry). Los orígenes y tipos de población de las accesiones evaluadas se describen en el Cuadro 1.

Cuadro1. Origen y tipo de poblaciones de acervos de jitomate mexicano evaluados en su calidad interna y externa. Montecillo, Estado de México, 2008.

Acervos	Clave de accesoión	Origen	Tipo de población
1. Campeche	Ca, Cb, Cc, Cd y Ce	Campeche	Poblaciones nativas
2. Guerrero	Gra, Grb, Grc, Grd y Gre	Guerrero	Poblaciones nativas
3. Estado de México	Ma	Estado de México	Población nativa tipo saladette
4. Montecillo	LD- Mo	Estado de México	Población derivada tipo cereza
	LD-Y	Estado de México	Línea derivada (tipo saladette)
5. Híbrido y líneas derivadas (H y LD)	LD-Gn	Guanajuato	Línea derivada (tipo saladette)
	K	Estado de México	Híbrido comercial Caimán
6. Oaxaca	Ox1, Ox2, Ox3, Ox4 y Ox5	Oaxaca	Poblaciones nativas
7. Puebla 1	PH-a, PH-b, PH-c, PH-d, y PH-e	Puebla y limites con Hidalgo	Poblaciones nativas
8. Puebla 2	Pa, Pb, Pc, Pd y Pe,	Puebla Sierra Norte	Poblaciones nativas
9. Yucatán	Ya, Yb, Yc, Yd y Yd,	Yucatán	Poblaciones nativas

La clave de accesoión se designo a las poblaciones que integran a los acervos

2. Diseño experimental

Con las treinta cinco poblaciones se formaron 7 grupos basándose en su origen, dichos grupos se distribuyeron en un diseño factorial completamente al azar; seis grupos se formaron de acuerdo al origen de las poblaciones Campeche, Yucatán, Oaxaca, Guerrero, Puebla 1 y Puebla 2, el último grupo se formó con las poblaciones testigos (K, LD-Y, LD-Gn), la población derivada tipo cereza (LD-Mo) y la población nativa LD-Ma. En cada uno de los grupos, las cinco poblaciones se distribuyeron en un diseño de bloques al azar, con tres repeticiones y cuatro plantas por repetición.

3. Manejo del experimento











Las poblaciones evaluadas se cultivaron en hidroponía. Las semillas de las poblaciones se pregerminaron sumergiéndolas en 25 mL de solución de nitrato de potasio (KNO₃), en la concentración de 0.02 N (ISTA, 2005). En el momento en que 90% de las semillas emitieron la radícula, éstas se trasladaron a charolas de unicel con 200 cavidades en un sustrato de tierra de monte tamizada, donde se mantuvieron en crecimiento con tres riegos diarios. A los 38 días de edad, cuando las plántulas alcanzaron 20 cm de altura aproximadamente, se trasladaron en bolsas de 10 kg con sustrato de tezontle tamaño sello. La densidad de siembra fue de 5 plantas(m⁻²). La nutrición del cultivo se realizó con la solución Stainer que se mantuvo en pH de 5.5, presión osmótica de 0.072 y conductividad eléctrica de 2.2 y 2.6 dsm⁻¹, durante todo el ciclo. La concentración y gasto se ajustaron en la medida del desarrollo del cultivo en tres etapas: del trasplante a la formación y amarre del primer racimo se aplicaron cuatro riegos de 85 mL(planta)⁻¹ con la solución nutritiva al 50%; del amarre del primer racimo hasta el cuajado del cuarto racimo se aplicaron cinco riegos de 90 mL(planta)⁻¹ con solución nutritiva al 75%; y desde el llenado del cuarto racimo a la cosecha de los frutos del sexto racimo se aplicaron seis riegos de 180 mL (planta)⁻¹ con solución nutritiva al 100%. El control de mosquita blanca (*Bemisia tabaci* Genn) se hizo con una aplicación mensual de 2.5 ppm de Karate (ingrediente activo Lambda-cialotrina, 8%), desde el trasplante hasta el inicio de la producción. El control de hongos se realizó con dos aplicaciones mensuales de Ridomil Gold 250 g 100 L⁻¹ de agua (*i.a.* Metalaxil M + clorotalonil), desde el corte del tercer racimo hasta el llenado del sexto racimo.

4. Muestreo de frutos

Los frutos se cosecharon en estado cambiante, tomando como criterio el color externo y que de acuerdo a la clasificación de grados de madurez para jitomate del USDA (2001), correspondió a frutos con 10-30% de color rosado-rojo; la muestra se integró de tres frutos sanos del tercero y/o del cuarto racimo, con tres repeticiones por población. Los frutos cosechados se almacenaron a 20±2°C de temperatura y 50-60% de humedad, de acuerdo a cinco estados de madurez (Cuadro 2: en la cosecha (0 días de almacenamiento), a los dos, cuatro y seis días después del corte, así como a la madurez comestible (cuando alcanzaron el estado rojo-brillante y eran firmes al tacto).

En cada estado de madurez se determinaron las variables de calidad externa: firmeza del fruto; Luminosidad, ángulo de tono, croma e índice de color del epicarpio y pérdida de peso.

Cuadro 2. Estados de madurez de poblaciones nativas de jitomate, un híbrido y tres líneas derivadas. Montecillo, Estado de México, 2008.

Estados de madurez	Tiempo de almacenamiento	Muestras en diferentes estados de madurez			
1	Cosecha		Cd		LD-Mo
2	Dos días después de la cosecha		Ox-2		PH-d
3	Cuatro días después de la cosecha		Yd		Gra
4	Seis días después de la cosecha		Ox-2		Ca
5	Madurez comestible		Gr-c		Ox-1

5. Características evaluadas

Firmeza

Este atributo se determinó midiendo la fuerza necesaria para ocasionar la ruptura de los tejidos de la epidermis con un texturómetro de Chatillón (Wagner, modelo FDV-30), adaptado con un puntal cónico de 2 mm. Los datos se registran en Newtons (N). Las lecturas se hicieron en tres lados de la región ecuatorial de los frutos y se calculó el promedio.

Color

El color se evaluó con una escala Cielab (L^* , a^* , b^*), mediante un colorímetro (Hunter Lab, Reston Virginia USA, modelo D-25). El componente L , es la luminosidad que se define como la proporción de luz transmitida por el objeto y que varía entre 0 (negro) y 100 (blanco); los valores son adimensionales. La saturación, o croma, expresa la proporción del contenido cromático y se calcula mediante la función $[(a^*)^2 + (b^*)^2]^{0.5}$, este parámetro es adimensional. El Hue o ángulo de tono, varía entre 0° y 360° (0° = rojo, 90° = amarillo, 180° = verde, 270° = azul,) (McGuire, 1992); se calculó de acuerdo con Arias *et al.* (2000); cuando los valores $a^* > 0$ y $b^* \geq 0$ se utilizó la ecuación $180 + \tan^{-1}(b^*/a^*)$, y cuando el valor $a^* < 0$ se utilizó la ecuación $\tan^{-1}(b^*/a^*)$; los resultados se expresaron en grados sexagesimales. El índice de color (IC) se calculó con la relación (a^*/b^*) considerando que el valor a^* es buen parámetro para evaluar los cambios en el color rojo y el grado de maduración; en tanto que b^* es un parámetro de coloración amarilla (Arias *et al.*, 2000). Las mediciones se tomaron en tres zonas ecuatoriales del fruto y se calculó el promedio de dichas lecturas

Peso y pérdida de peso

El peso del fruto se midió sólo al momento de cosecha con una balanza digital (Mettler, modelo EY2200 A), con aproximación de 0.01g, y se expresó en gramos (g). La pérdida de peso se calculó considerando la diferencia en peso entre el valor inicial y el obtenido en cada fecha de evaluación establecida, calculando el porcentaje (%) mediante la siguiente ecuación:


$$\text{Pérdida de peso (\%)} = [(\text{Peso inicial} - \text{Peso final}) / \text{Peso inicial}] * 100.$$

Vida de anaquel

La vida de anaquel se determinó con base en los días que tardó el fruto después del corte para alcanzar la madurez comestible.

6. Análisis de resultados

Evolución de la madurez

 El análisis de las características de calidad externa se realizó mediante un diseño con arreglo factorial 9X5, los factores fueron los acervos y los estados de madurez. Los acervos fueron: Campeche; Yucatán; Oaxaca; Guerrero; Puebla 1; Puebla 2; Estado de México (LD-Ma); Montecillo (LD-Mo) y el acervo del Híbrido y líneas derivadas (K, LD-Y, LD-Gn). Los estados de madurez fueron los siguientes: 1: al corte; 2: dos días después de la cosecha; 3: cuatro días después de la cosecha; 4: seis días después de la cosecha; y 5: madurez comestible. El análisis se realizó con el paquete estadístico SAS, v. 9.1 (SAS, 2002). La comparación de las medias se hizo con base en Tukey al nivel de significancia de $p \leq 0.05$.

Diversidad en calidad externa

Con los promedios de las variables de calidad externa en la madurez de consumo, se realizó un análisis de Componentes Principales. La representación gráfica de la distribución espacial de los acervos se realizó con base en los componentes principales 1 y 2. Se empleó el paquete estadístico SAS, v. 9.1 (SAS, 2002).

Las relaciones de similitud entre las 35 poblaciones se determinaron con base en un análisis de conglomerados; utilizando las distancias euclidianas como coeficientes de similitud; y la agrupación jerárquica se realizó con el método de ligamiento promedio (UPGMA). Este análisis se realizó con el paquete estadístico STATYSTICA.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Evolución de la madurez

El análisis de varianza (Cuadro 3) mostró diferencias altamente significativas entre acervos y estados de madurez, así como en la interacción acervos x estados de madurez, en las 6 características de calidad externa evaluadas.

Los resultados confirman la amplia variación entre acervos para las características estudiadas así como las fuertes diferencias entre etapas de maduración. La significancia de la interacción muestra la respuesta diferencial de los acervos al proceso de maduración en las características bajo estudio.

Cuadro 3. Análisis de varianza de los factores de estudio para las variables de calidad externa de jitomate de acervos nativos. Montecillo, Estado de México, 2008.

Fuentes de variación	Firmeza	L	°Hue	Croma	Índice de color	Pérdida de peso
Repetición	0.051	0.318	28.474	0.208	0.015	0.203
Estado	19.445 **	1061.46 **	22993.527 **	123.442 **	15.350 **	133.316 **
Acervo	2.939 **	34.641 **	493.218 **	37.378 **	0.713 **	15.711 **
Estado*Acervos	0.051 **	18.119 **	137.538 **	0.208 **	0.112 **	0.340 **

** Altamente significativa ($p < 0.001$)

En el Cuadro 4 se muestran los intervalos de variación, los valores promedio, las desviaciones estándar y los coeficientes de variación de 6 características de calidad externa del fruto, en diferentes estados de madurez.

Al momento de la cosecha la luminosidad, el ángulo de tono y el croma mostraron menos diferencias en general ($CV < 10\%$). Este aspecto estaría relacionado con el punto de corte con base en el color del fruto, ya que las muestras se encontraban en un estado de madurez similar. La variación en esas características se incrementó en diferente magnitud a medida que la madurez avanzó.

Cuadro 4. Valores promedio, desviación estándar y coeficiente de variación de seis características de calidad externa en frutos de acervos de jitomate, en diferentes estados de madurez. Montecillo, Estado de México, 2008.

VARIABLES DE CALIDAD EXTERNA	ESTADO DE MADUREZ	INTERVALOS	PROMEDIO	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN (%)
Firmeza (N)	1	2.42-7.98	4.57	1.49	32.72
Luminosidad	1	43.5-52.16	48.46	2.20	4.53
Ángulo hue (°)	1	93.66-118.12	105.21	6.01	5.71
Croma	1	15.14-20.21	17.69	1.34	7.56
Índice de color	1	-0.06-0.53	-0.28	0.11	-40.98
Pérdida de peso (%)	1	0	0	0	0
Firmeza (N)	2	1.43-6.66	2.84	1.32	46.58
Luminosidad	2	40.96-51.78	2.76	0.78	28.14
Ángulo hue (°)	2	53.09-92.74	76.88	11.32	14.72
Croma	2	14.34-20.57	17.12	1.89	11.05
Índice de color	2	-0.048-0.75	0.25	0.22	88.12
Pérdida de peso (%)	2	1.67-4.04	2.76	0.78	28.14
Firmeza (N)	3	0.94-4.95	1.83	0.97	53.24
Luminosidad	3	37.05-44.67	4.69	1.23	26.12
Ángulo hue (°)	3	32.14-72.29	53.73	11.07	20.61
Croma	3	14.97-21.91	18.53	1.93	10.43
Índice de color	3	0.36-1.62	0.82	0.32	38.93
Pérdida de peso (%)	3	3.00-7.16	4.69	1.23	26.12
Firmeza (N)	4	0.52-2.48	1.25	0.42	33.82
Luminosidad	4	32.86-38.10	6.38	1.47	23.02
Ángulo hue (°)	4	24.81-47.31	36.18	7.14	19.74
Croma	4	17.91-30.13	21.40	2.65	12.39
Índice de color	4	0.93-2.34	1.46	0.38	25.94
Pérdida de peso (%)	4	4.30-9.12	6.38	1.47	23.02
Firmeza (N)	5	0.59-1.72	1.00	0.29	28.72
Luminosidad	5	31.20-34.01	7.88	1.72	21.75
Ángulo hue (°)	5	26.30-47.21	36.54	6.54	17.90
Croma	5	13.18-24.33	18.15	3.16	17.39
Índice de color	5	0.93-2.04	1.43	0.34	23.66
Pérdida de peso (%)	5	5.53-11.06	7.88	1.72	21.75

N: newton; Hue (°): grados sexagesimales.

La variación en firmeza de los frutos fue menor en la madurez de consumo (CV=28.72 %); en tanto que, la mayor variación se presentó al momento de la cosecha. La pérdida de peso fue mayor en los primeros estados de madurez y decreció con la maduración; esta característica se hizo más homogénea al avanzar la maduración de los frutos.

El valor negativo observado en el coeficiente de variación del índice de color al momento de la cosecha fue debido a la coloración verde de los frutos.

2. Variación en características de calidad externa

Firmeza

Los cambios en la firmeza fueron significativos ($p \leq 0.05$) entre estados de madurez (Figura 1). Los valores más altos se presentaron en el estado 1 (4.57 N) y disminuyeron en la madurez de consumo (1.31 N). Los resultados observados se explican por el proceso de maduración, que provoca cambios en la pared celular debidos al incremento en la expresión de enzimas relacionadas con el ablandamiento del fruto (Bourgault y Bewley, 2002); por la pérdida de agua en la transpiración y la pérdida de turgencia, que también provocan ablandamiento de los frutos; la composición y la estructura de la cutícula igualmente afectan la firmeza (Saladie *et al.*, 2007). La pérdida de firmeza muestra una tendencia lineal ($y = -0.92x + 5.14$; $R^2 = 0.93$), con una reducción de 1 N por etapa, aproximadamente. Las diferencias entre acervos resultaron estadísticamente significativas (Figura 1).

La firmeza en los acervos mostró un amplio rango de variación, ya que algunos acervos tuvieron escasa firmeza (1.31 N) y otros tuvieron frutos muy firmes (5.25 N). El acervo del híbrido y las líneas derivadas tuvo la mayor firmeza, y mostró una diferencia amplia respecto a los otros acervos. La firmeza de las poblaciones de los acervos Campeche, Oaxaca y Yucatán no es tan alta como la de las variedades comerciales; sin embargo, sus niveles de firmeza son aceptables al consumidor, de acuerdo a los resultados de Batu, (2004). Dentro de acervos se encontró

variabilidad en el grado de firmeza; el grupo del híbrido y las líneas derivadas presentó el mayor grado de variación (Figura 2).

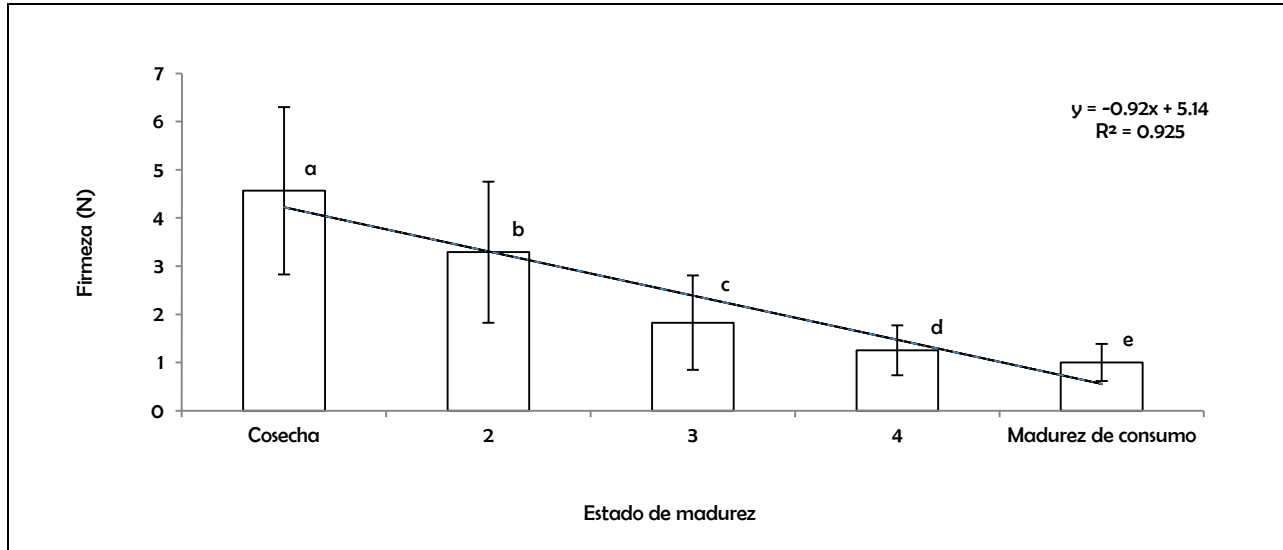


Figura 1. Firmeza de frutos de jitomate en diferentes estados de madurez. Las barras corresponden al promedio de nueve acervos; las líneas verticales a la desviación estándar; la línea recta corresponde a la función de regresión. Montecillo, Estado de México 2008.

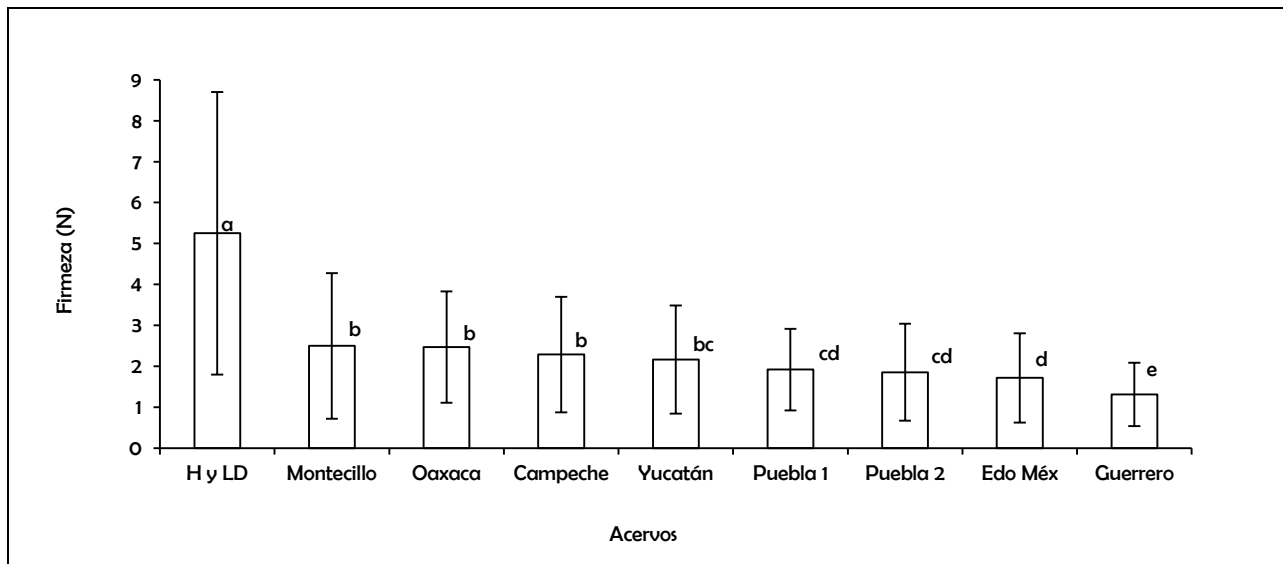


Figura 2. Firmeza de frutos de jitomate de nueve acervos. Las barras corresponden al promedio de cinco estados de madurez; las líneas verticales a la desviación estándar. Montecillo, Estado de México, 2008.

La interacción acervo x estado de madurez fue significativa, debido a que los cambios en firmeza a través del proceso de maduración no se da de igual manera en todos los acervos. El acervo del híbrido y líneas derivadas tuvo mayor firmeza respecto a los otros acervos (Figura 3) en todos los estados de madurez, inclusive al momento del corte. Este comportamiento podría atribuirse a diferencias en la estructura celular del pericarpio (Chaib *et al.*, 2007), así como a la expresión diferencial de enzimas degradantes de pared celular (Carrari y Fernie, 2006).

Las diferencias en firmeza son más evidentes en la etapa de corte, sin embargo, las diferencias entre acervos se estrechan a medida que la maduración avanza. El acervo Híbrido y Líneas derivadas y el de Montecillo tuvieron mayor firmeza que las poblaciones nativas al momento de la cosecha, sin embargo, la tasa de reducción en ambos grupos poblacionales es más rápida ($\beta = 1.66$ y $\beta = 1.12$, respectivamente). Esta situación provocó que los frutos del acervo Montecillo fueran menos firmes que los frutos de las poblaciones nativas en madurez comestible (Figura 3).

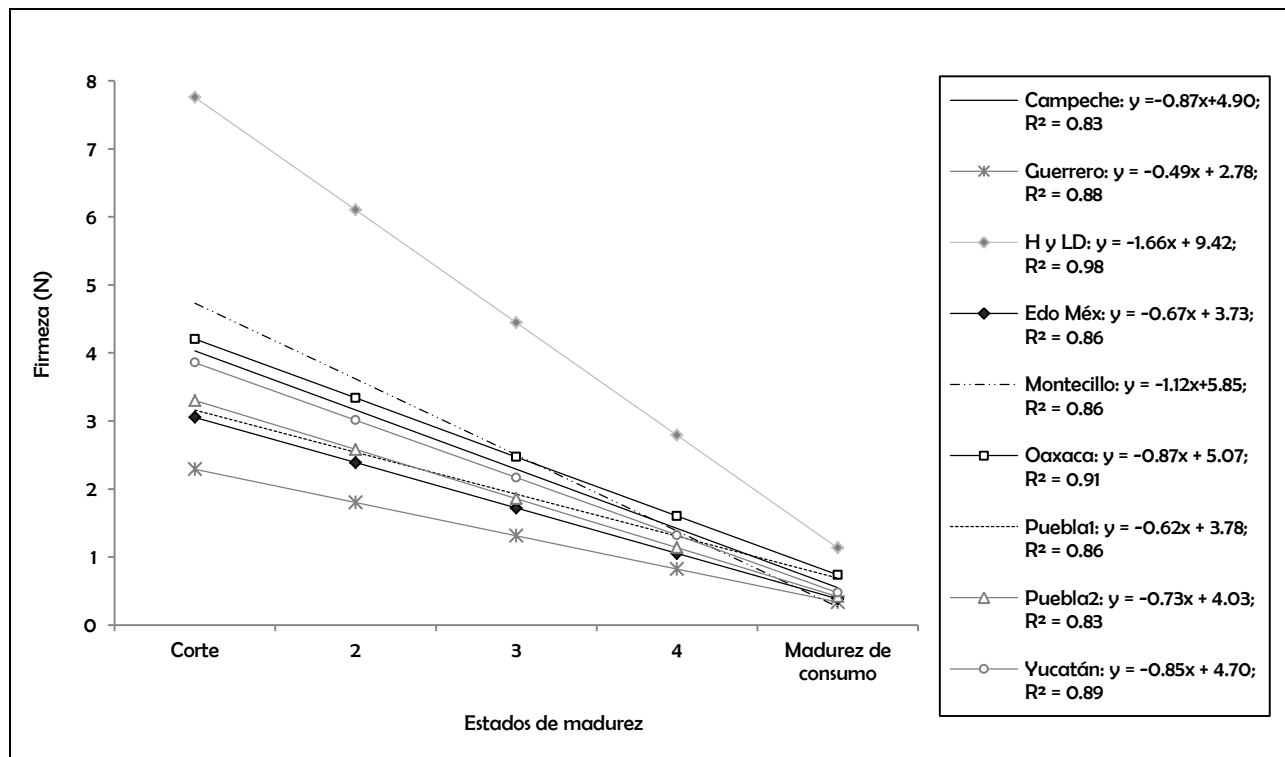


Figura 3. Interacción acervos x estados de madurez para firmeza de frutos de jitomate. Montecillo, Estado de México, 2008

Luminosidad

La luminosidad de los frutos decreció en la medida que la madurez avanzó (Figura 4). Las diferencias entre grados de madurez fueron significativas ($p \leq 0.05$), resultados que coinciden con Arias *et al.*, (2000). Este resultado refleja el oscurecimiento de los jitomates por la síntesis de licopeno y la degradación de la clorofila al avanzar la madurez. Los cambios en luminosidad al momento de la cosecha (48.46) a la madurez comestible (32.34) mostró una relación lineal ($y = -3.95x + 51.77$; $R^2 = 0.99$), que indica que por cada estado de maduración hay una reducción de 4 unidades en la luminosidad.

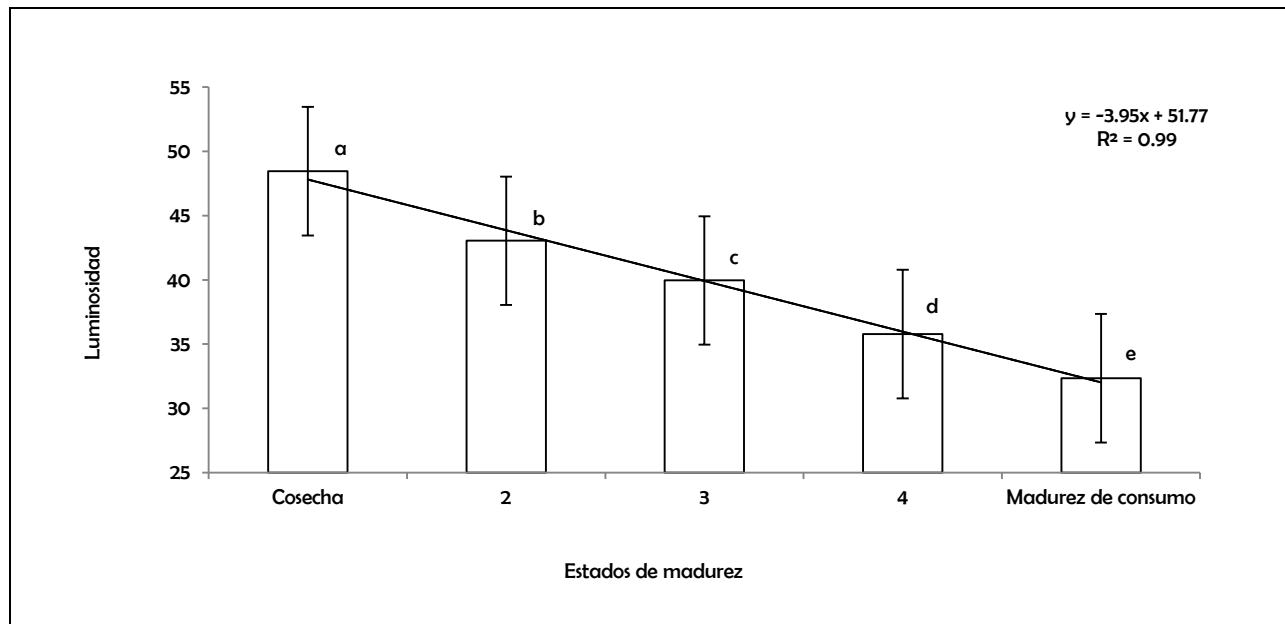


Figura 4. Luminosidad de frutos de jitomate en diferentes estados de madurez. Las barras corresponden al promedio de nueve acervos; las líneas verticales a la desviación estándar; la línea vertical muestra la función de regresión. Montecillo, Estado de México, 2008.

La luminosidad fue afectada por el origen de las poblaciones o acervos, dando lugar a diferencias significativas (Figura 5). Los frutos de las poblaciones nativas fueron más luminosas en relación a los testigos comerciales (híbrido y líneas derivadas) incluyendo a la población del estado de México, que es una línea derivada de tipo cherry. Los frutos de los acervos de Puebla presentaron la mayor luminosidad.

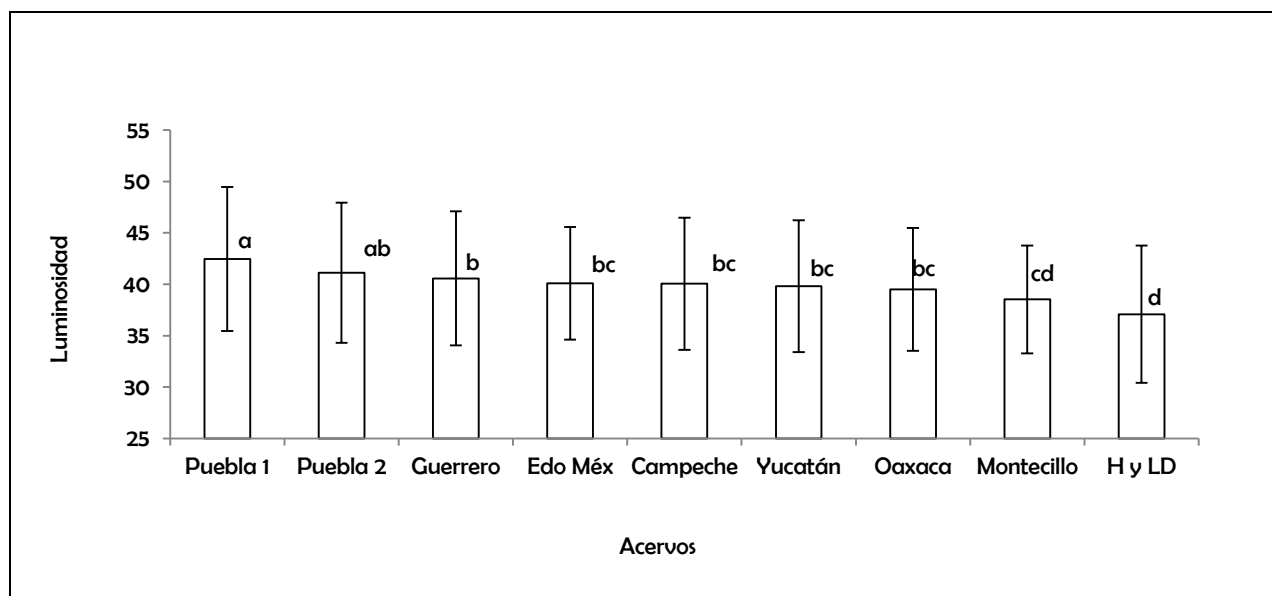


Figura 5. Luminosidad de frutos de jitomate de nueve acervos. Las barras corresponden al promedio de cinco estados de madurez; las líneas verticales a la desviación estándar, Montecillo, Estado de México, 2008.

La interacción entre los factores estado de madurez y acervo fue altamente significativa (Cuadro 3). Esta condición indica que la evolución de la luminosidad y por lo tanto del color son diferenciales y características de cada acervo. La evolución de la luminosidad mostró diferencias a partir del segundo estado de madurez (Figura 6). A pesar de que la velocidad de degradación de clorofila difiere entre acervos ($\beta=-4.63$ y $\beta=-3.40$, valor más alto y más bajo, respectivamente), en el estado de madurez cinco los frutos no presentan diferencias significativas en luminosidad. Al avanzar la madurez, la luminosidad fue más homogénea. Aunque la tendencia de degradación fue lineal en todos los acervos (R^2 de 0.96 a 0.99). Al avanzar la madurez la luminosidad fue más homogénea entre acervos.

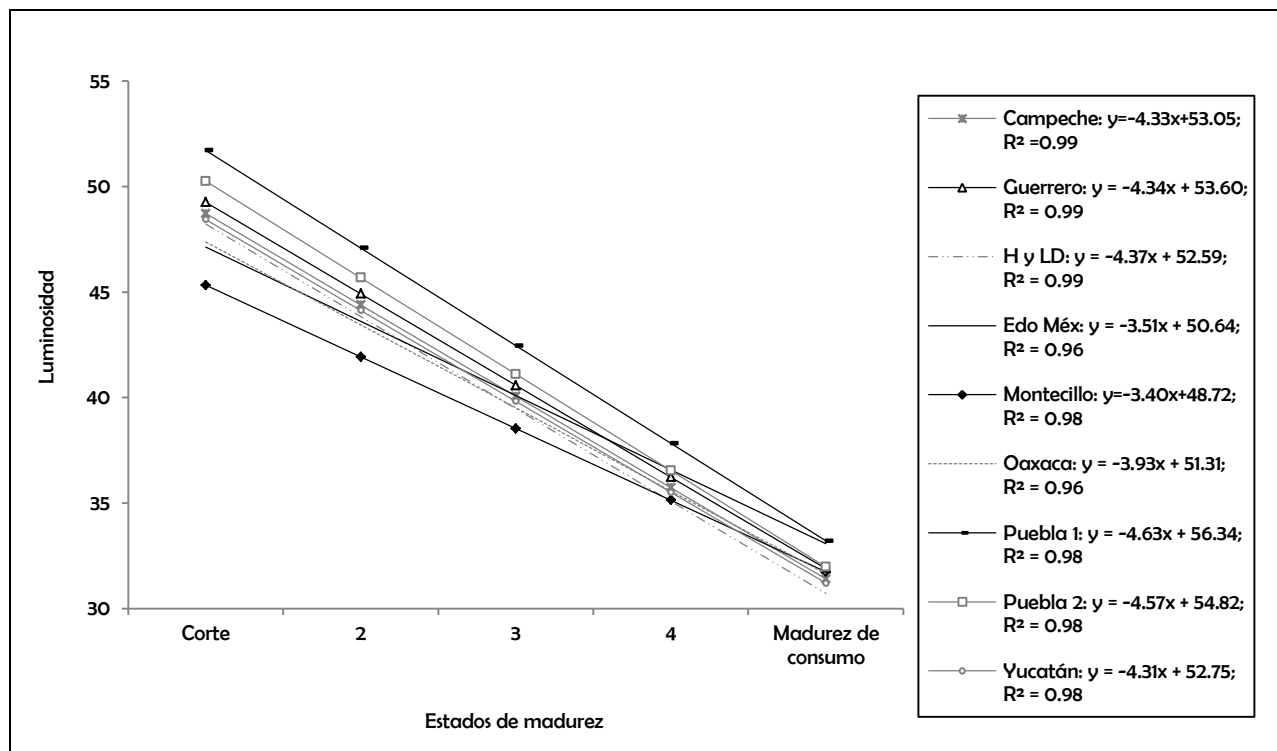


Figura 6. Interacción acervos x estados de madurez para luminosidad de frutos de jitomate. Montecillo, Estado de México, 2008.

Ángulo de tono

El ángulo de tono o ángulo Hue indica la proporción de rojo, amarillo, verde o azul en un color determinado, por lo que ha sido ampliamente usado para expresar los cambios de color a través del proceso de maduración (López y Gómez, 2004). El color en los frutos de jitomate está condicionado por el contenido de carotenoides, el licopeno se encuentra en mayor proporción en los frutos maduros, y proporciona el color rojo (Foolad, 2007). El valor de Hue es un buen indicador del contenido de licopeno con el que tiene una correlación negativa que indica que a mayor Hue menor contenido de licopeno (Thompson *et al.*, 2000).

El ángulo de tono varió significativamente de acuerdo al estado de madurez y disminuyó al madurar los frutos (Figura 7). En el momento de la cosecha, los frutos fueron verdes, (105.21°), y las lecturas fueron más homogéneas; a partir del segundo estado de madurez, los frutos fueron más rojos (73.97°). La velocidad de síntesis de carotenos decreció hasta llegar al estado 4, en

donde se apreció el punto máximo, después de lo cual decreció. A pesar de no presentar diferencias significativas con la madurez de consumo, el color rojo decreció, lo cual podría indicar el inicio de la degradación de pigmentos. Este comportamiento fue similar al observado en el cultivar *Boddar* (Odriozola-Serrano *et al.*, 2008). La información acerca de la evolución de este parámetro es limitada en poblaciones nativas. La evolución del ángulo Hue muestra una tendencia lineal inversa ($y = -17.51x + 113.66$; $R^2 = 0.90$), ya que por cada etapa de madurez ocurrió una disminución de 17.51° (Figura 7).

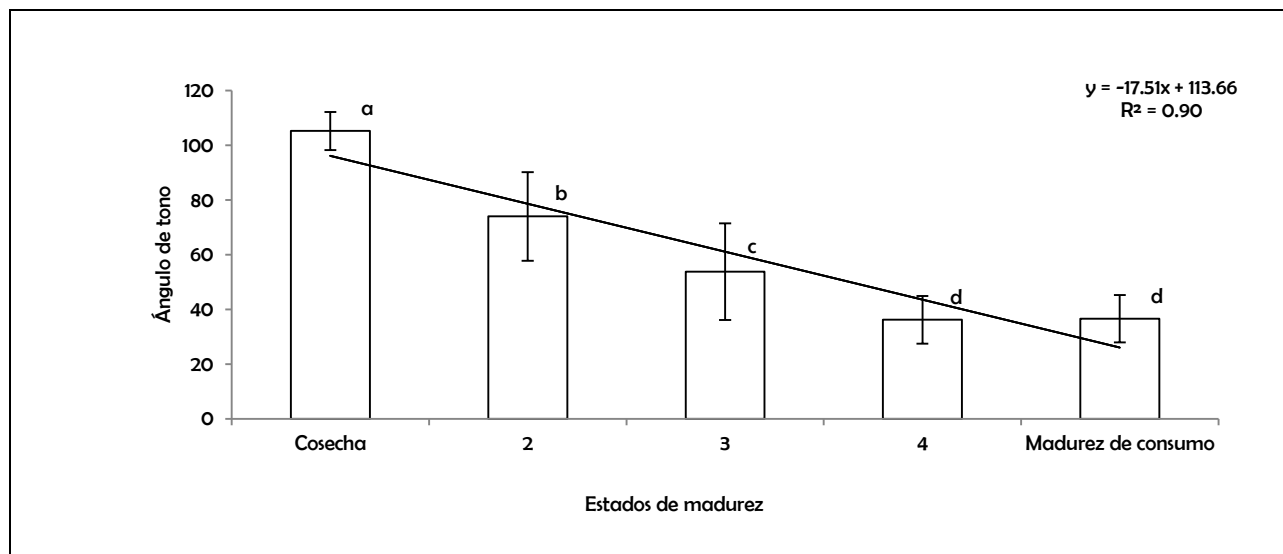


Figura 7. Ángulo de tono ($^\circ$) de frutos de jitomate en diferentes estados de madurez del fruto. Las barras corresponden al promedio de nueve acervos; las líneas a la desviación estándar. La línea recta muestra la función de regresión. Montecillo, Estado de México, 2008.

Se encontraron diferencias significativas en el ángulo de tono entre los acervos (Figura 8). Los acervos de Yucatán y Campeche presentaron los valores los más bajos (51.94 y 55.50 , respectivamente), lo que significaría una síntesis de pigmento rojo mayor y contenido de licopeno superior en estos acervos. Los valores más altos se encontraron en los acervos Puebla 2 (70.11°) y Montecillo (68.13°); el grupo del híbrido y líneas derivadas presentó un valor intermedio similar estadísticamente, al acervo Oaxaca. Estos resultados concuerdan con las observaciones de Odriozola-Serrano *et al.*, (2008), en que el contenido de licopeno vario ampliamente entre cultivares, entre estados de madurez y entre condiciones de crecimiento. En la literatura no se encuentran resultados comparables en poblaciones nativas.

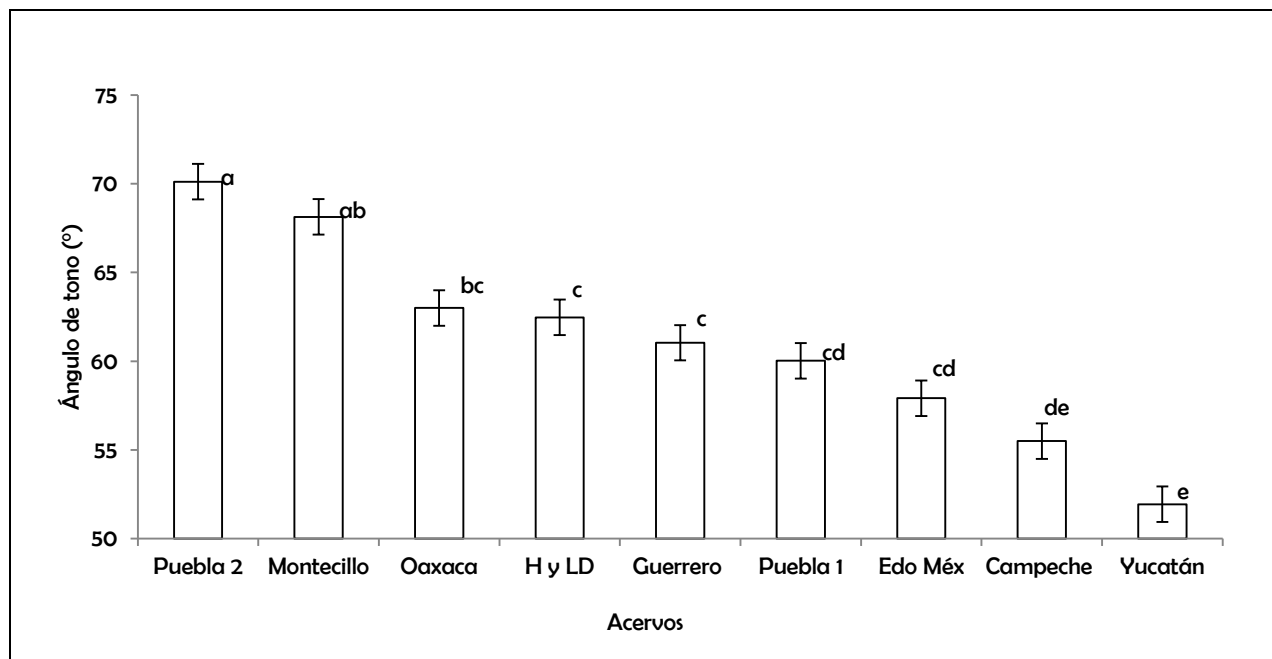


Figura 8. Ángulo de tono de frutos de jitomate en diferentes estados de madurez. Las barras corresponden al promedio de cinco estados de madurez; las líneas verticales a la desviación estándar. Montecillo, Estado de México 2008.

La interacción entre los factores para la variable ángulo de tono fue altamente significativa, lo que indicaría diferencias entre acervos en la forma en que evoluciona la síntesis de pigmentos a través de las etapas de madurez. Al momento del corte el acervo Estado de México presentó un ángulo de tono de 94.82° , y los frutos menos rojos correspondieron al acervo Montecillo (hue= 113°) (Figura 9). Dado que la velocidad de desarrollo del color es diferente, los acervos de Campeche y Yucatán tuvieron un color más intenso a partir del estado de madurez 2; y el acervo de Oaxaca lo obtuvo a partir del estado de madurez 4. Después del 4° estado de madurez no hubo cambios significativos en el color rojo entre acervos. El acervo Estado de México tuvo la mayor pigmentación al corte y la menor velocidad de síntesis de pigmentos ($\beta=14.26$); la mayor tasa de evolución correspondió al acervo Oaxaca ($\beta=20.61$) ya que presentó la menor cantidad de rojo a la cosecha; y la menor velocidad de evolución la presentó el acervo del estado de México ($\beta=14.26$). La evolución del ángulo de tono (Hue) a través de los estados de madurez fue lineal en todos los acervos (R^2 de 0.82 a 0.96), con ligeras variantes en la velocidad de desarrollo.

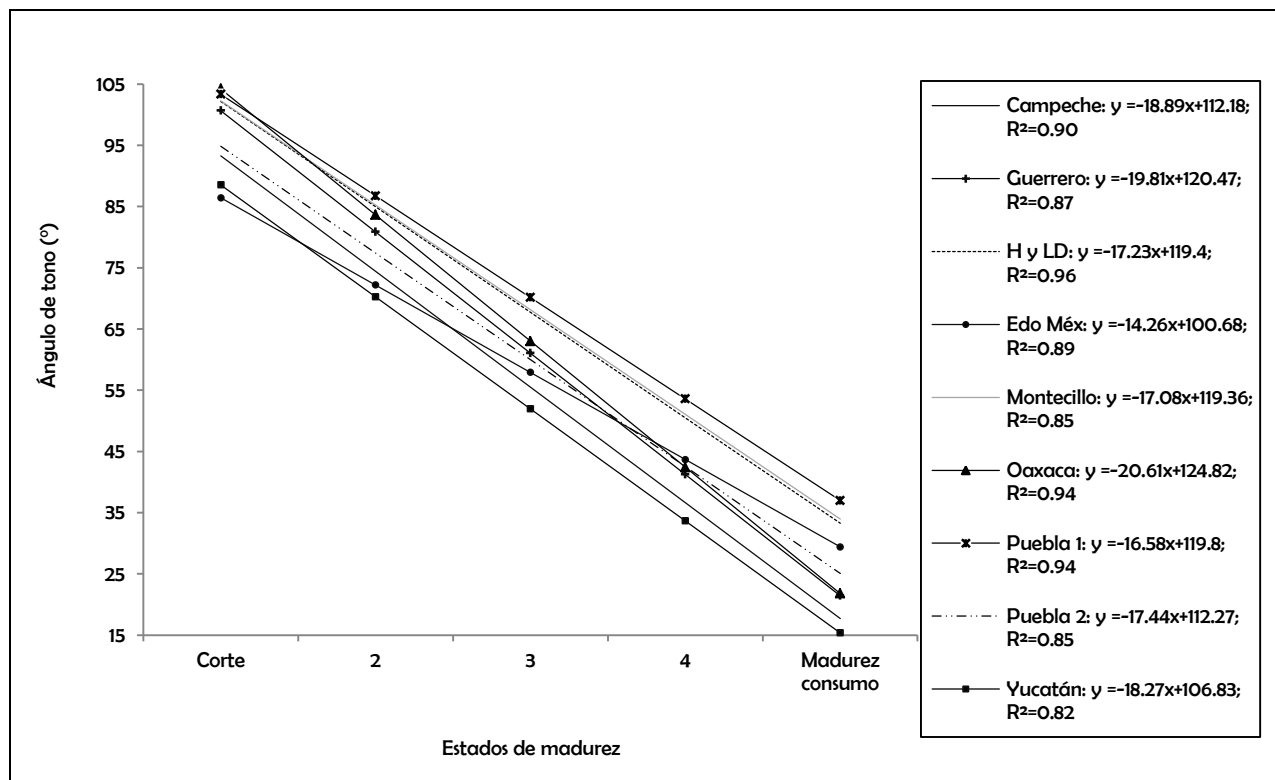


Figura 9. Interacción acervos x estados de madurez para ángulo de tono de frutos de jitomate. Montecillo, Estado de México, 2008.

Cromaticidad (Croma)

Los valores de croma variaron significativamente durante el periodo de postcosecha evaluado. Los valores más altos se encontraron en los estados de madurez 2 y 4 (21.40), en tanto que, los valores mínimos se observaron en los estados de corte, 3 y madurez de consumo. El comportamiento de la cromaticidad o saturación de color fue irregular, y la evolución a través de los diferentes estados de desarrollo del fruto no mostró una tendencia lineal, en cambio mostró una relación polinómica (Figura 10) descrita por la relación $y = -0.71x^4 + 8.21x^3 - 33.10x^2 + 54.29x - 11.00$, que muestra un ajuste máximo con el modelo ($R^2=1$), estos resultados coinciden con los de Arias *et al.* (2000).

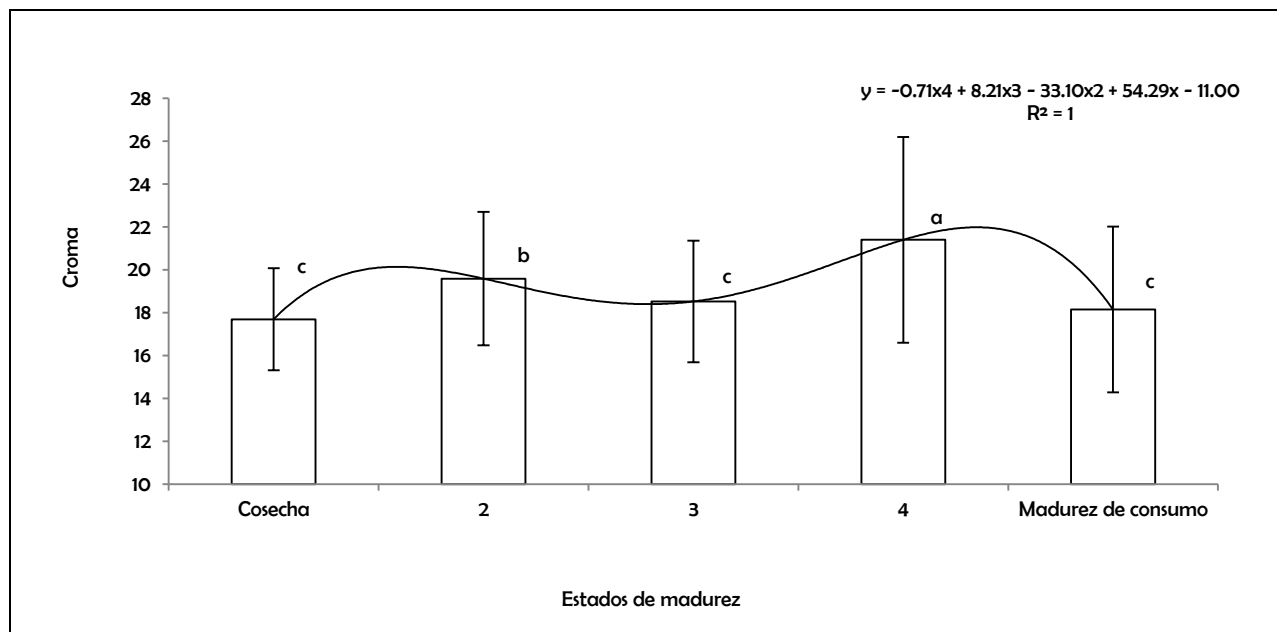


Figura 10. Croma de frutos de jitomate en diferentes estados de madurez. Las barras corresponden al promedio de nueve acervos; las líneas verticales a la desviación estándar y la línea continua a la función de regresión. Montecillo, Estado de México, 2008.

El origen de los acervos generó diferencias estadísticas ($p \leq 0.05$), en croma entre los acervos, en forma similar a los observado por Odriozola-Serrano *et al.*, (2008) y Borghesi *et al.*, (2010), dado que las diferencias entre los componentes de color se atribuyeron en gran medida al genotipo. La diferencia entre el acervo del híbrido y líneas derivas, en relación a los otros 8 acervos, es amplia ya que presentó el valor más alto (21.51); el acervo Montecillo tuvo un valor croma de 18.86 similar a algunas poblaciones nativas (Figura 11). El acervo Yucatán fue el que tuvo la mayor variabilidad, contrariamente el acervo Estado de México fue el más homogéneo lo cual se puede atribuir a que el primer acervo estuvo compuesto por Cinco poblaciones, mientras que el de origen Estado de México estuvo constituido por una sola población.

La interacción entre acervos y los estados de madurez fue significativa, (Figura 12). Cuando los frutos llegaron a la madurez de consumo, los acervos tuvieron amplias diferencias significativas (11.32-23.40). Los valores más altos de croma correspondieron a los acervos de híbridos y líneas derivadas y Oaxaca; en tanto que, los acervos de Guerrero y Puebla presentaron los valores de croma más bajos.

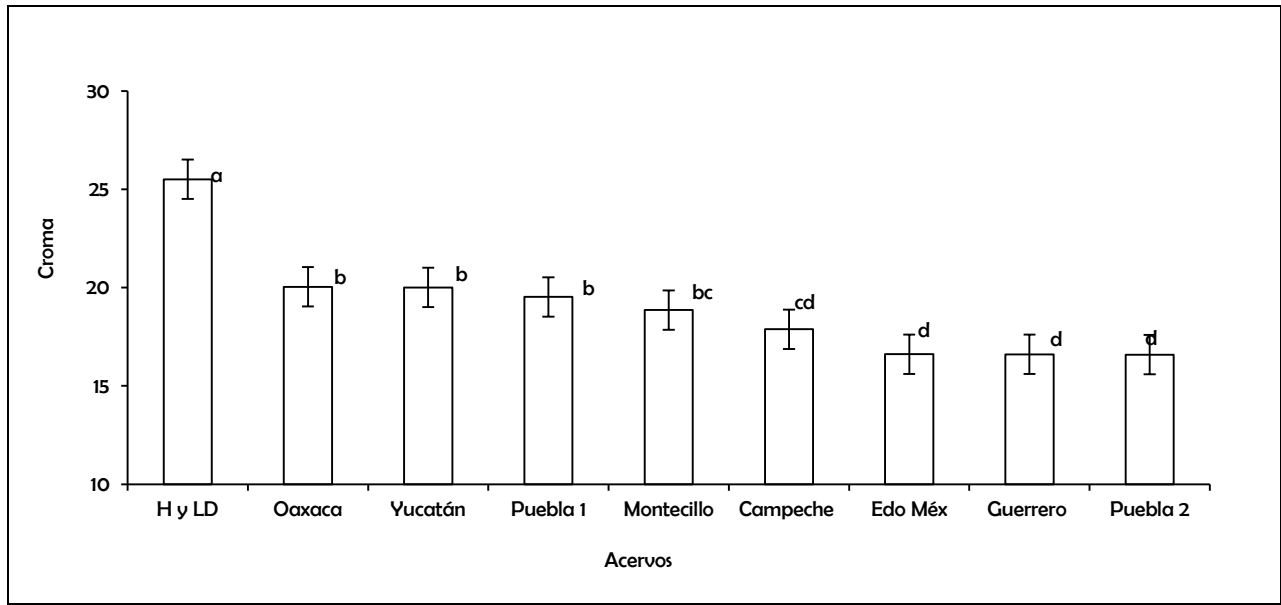


Figura 11. Croma de frutos de jitomate de nueve acervos. Las barras corresponden al promedio de cinco estados de madurez; las líneas verticales la desviación estándar. Montecillo, Estado de México, 2008.

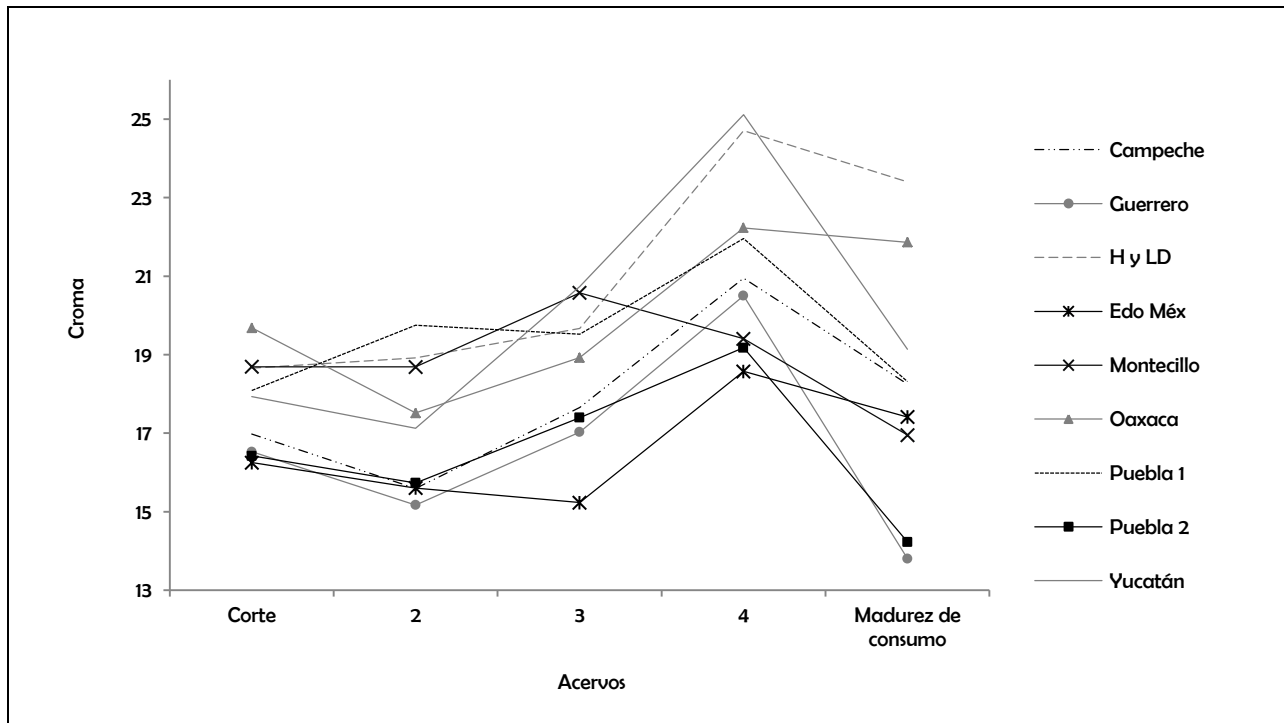


Figura 12. Interacción acervos x estados de madurez para croma en frutos de jitomate. Montecillo, Estado de México, 2008.

Índice de color

El índice de color (a^*/b^*), se ha utilizado como indicador del desarrollo de color rojo en jitomate, y como tal ha mostrado alta correlación con el estado de madurez por lo que es posible basarse en esta índice para determinar la madurez del jitomate (Arias *et al.*, 2000). El índice de color incrementó conforme avanzó la maduración de los frutos, y las diferencias entre los estados de madurez fueron significativamente diferentes (Figura 13). Al momento de la cosecha, el índice de color tuvo un valor negativo debido al valor negativo de a^* ; los estados de madurez 2 y 3 no presentaron diferencias significativas en el índice; de igual manera, en los estados de madurez 4 y 5. El índice de color presenta un comportamiento inverso y proporcional al ángulo de tono hue. El índice de color muestra una tendencia lineal $y=0.46x-0.65$; $R^2 = 0.94$).

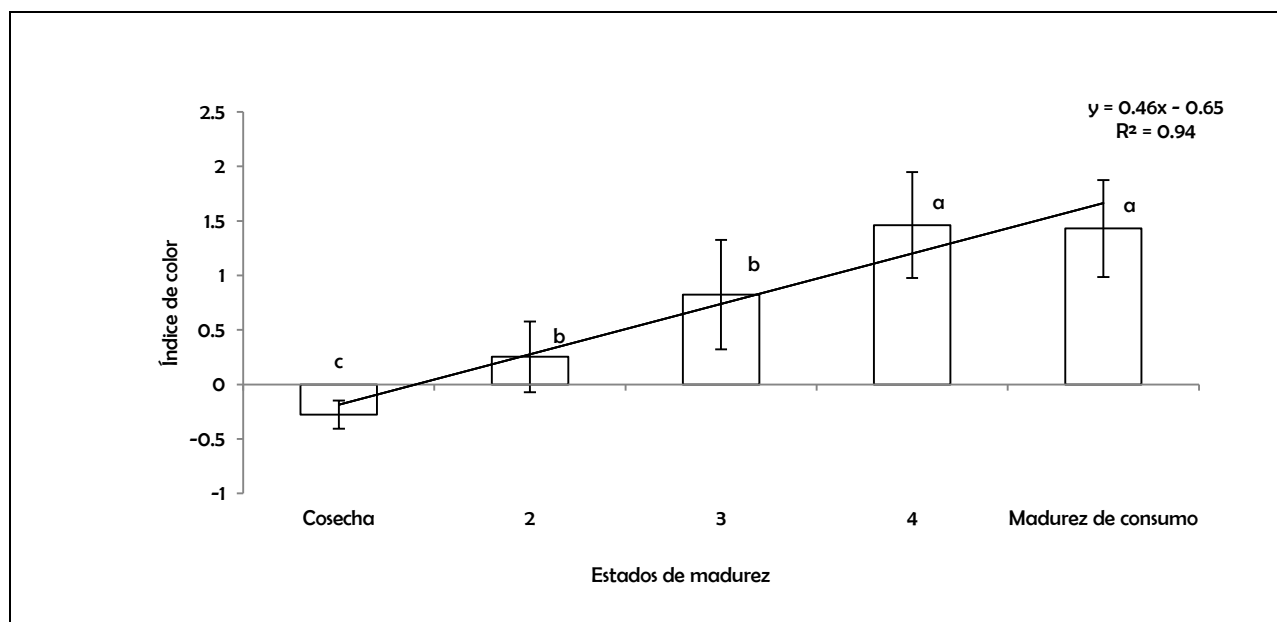


Figura 13. Índice de color de frutos de jitomate en diferentes estados de madurez del fruto. Las barras corresponden al promedio de nueve acervos; las líneas verticales a la desviación estándar, la línea recta muestra la función de regresión. Montecillo, Estado de México, 2008.

El índice de color fue significativamente diferente entre acervos. Los acervos de Yucatán y Campeche fueron los más altos, como consecuencia de una mayor síntesis de color rojo (Figura 14); los acervos nativos de Guerrero, Estado de México, Oaxaca y Puebla 2 presentaron similitudes en el índice de color, mientras que los acervos del Híbrido y líneas derivadas, Montecillo y Puebla 1 presentaron los valores más bajos de desarrollo de color.

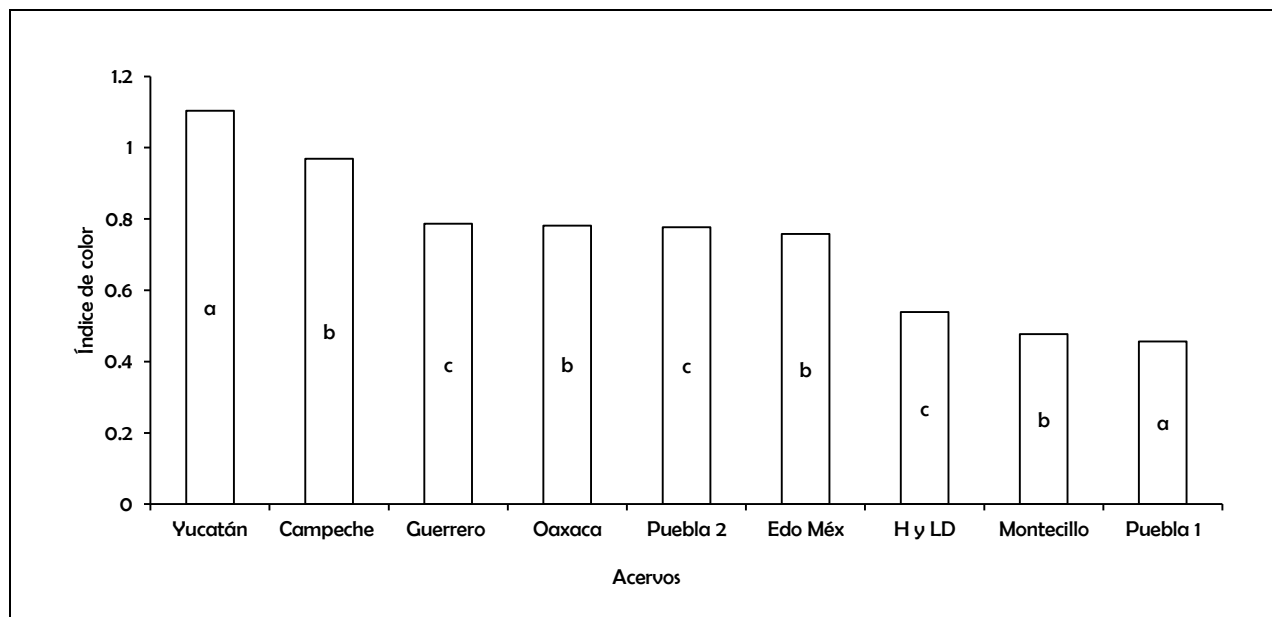


Figura 14. Índice de color de frutos de jitomate de nueve acervos. Las barras corresponden al promedio de cinco estados de madurez. Montecillo, Estado de México, 2008.

La variación contenida en poblaciones silvestres de jitomate pueden ser utilizada como fuente de mejoramiento para elevar los niveles de algunos carotenos (Liu *et al.*, 2003; Fernie *et al.*, 2006); existe variación en las poblaciones nativas evaluadas que puede ser utilizada para mejorar esta característica; los acervos de Yucatán y Campeche son los que presentan mayor contenido de pigmentos y pueden ser utilizados para este fin.

En todos los acervos el comportamiento del índice de color fue similar, ya que los valores aumentaron al avanzar la madurez (Figura 15). En el estado de madurez 2, los índices de color incrementaron mayormente en los acervos Campeche, Yucatán, mientras que en el acervo de Oaxaca aumentaron considerablemente en el estado de madurez 4, es decir, la evolución del índice de color fue diferencial y característica de cada acervo, fenómeno que podría explicar las diferencias presentadas en madurez de consumo. La velocidad de desarrollo de índice de color es determinante para definir el color en madurez comestible de los frutos; los acervos Yucatán, Campeche y Oaxaca tuvieron el mismo valor en las pendientes, sin embargo el acervo Yucatán fue el que tuvo el valor inicial más bajo entre estos tres acervos.

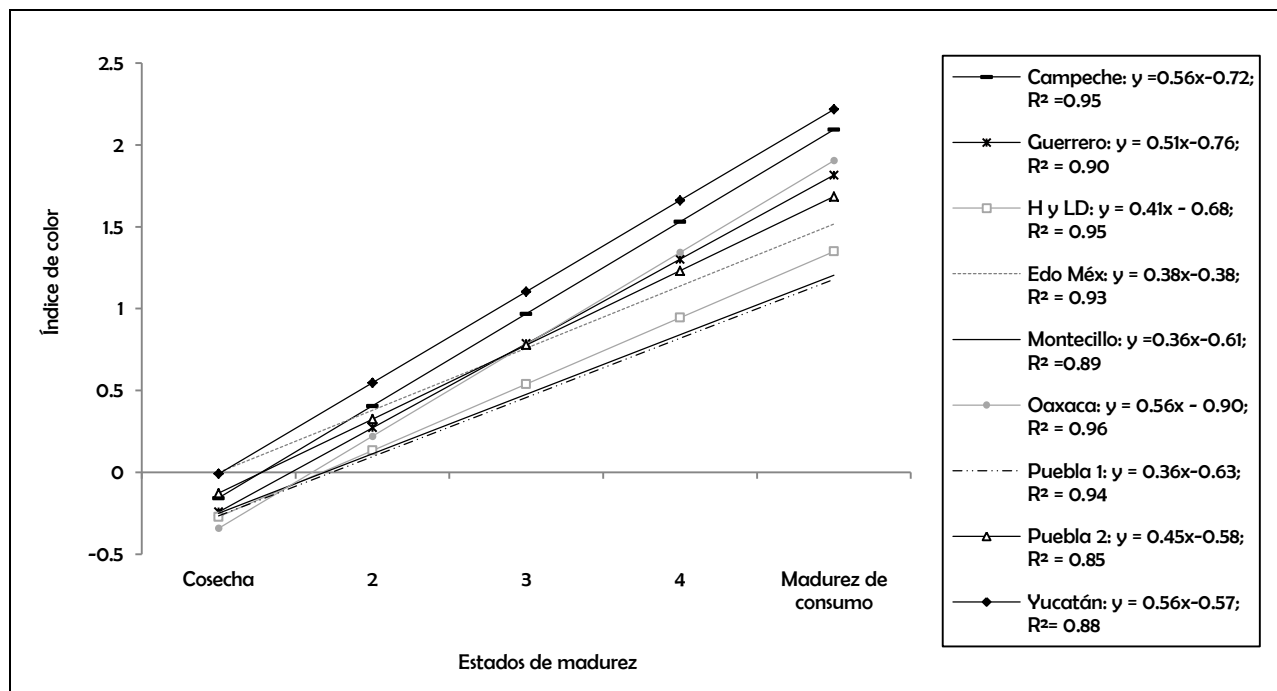


Figura 15. Interacción acervos x estados de madurez para índice de color de frutos de jitomate. Montecillo, Estado de México, 2008.

Pérdida de peso

Se encontraron diferencias significativas entre estados de madurez para pérdida de peso (Figura 16). La velocidad de pérdida de peso fue mayor entre los primeros estados de madurez hasta llegar al estado 4; después de esta etapa no se presentaron diferencias significativas. Todos los acervos se comportaron de manera similar. El mayor porcentaje de pérdida de peso ocurrió en el acervo de Guerrero en tanto que los acervos de Campeche, mejorados y Yucatán presentaron la menor pérdida de peso durante la maduración. La pérdida de peso presentó también un comportamiento lineal a través de la maduración ($y=1.94x-1.49$; $R^2=0.99$), relación que muestra que por cada estado de madurez, los frutos tuvieron pérdidas de 1.94%.

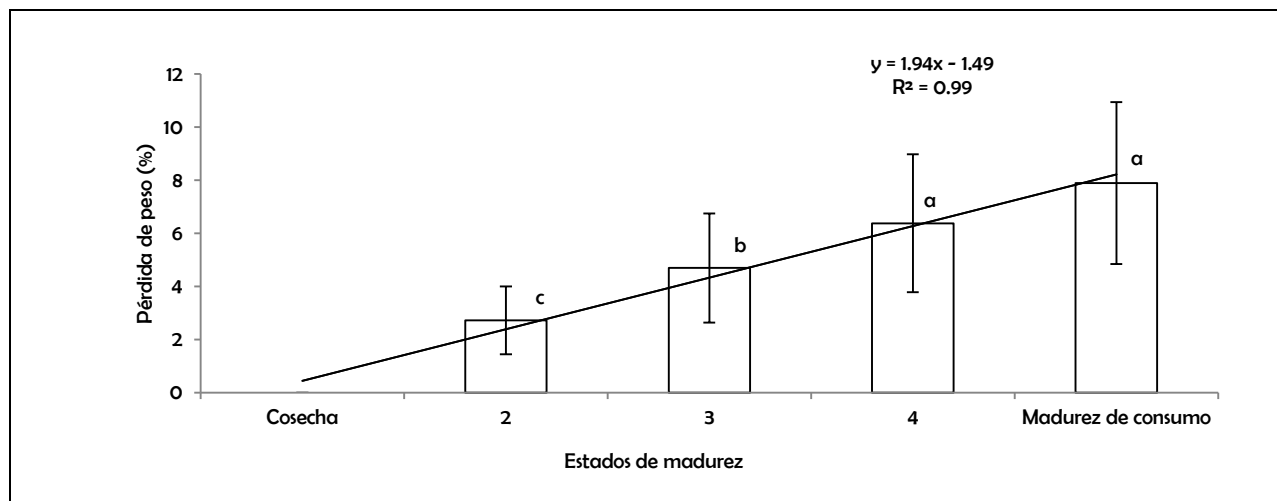


Figura 16. Pérdida de peso de frutos de jitomate en diferentes estados de madurez. Las barras corresponden al promedio de nueve acervos; líneas verticales a la desviación estándar; la línea recta a la función de regresión. Montecillo, Estado de México, 2008.

La pérdida de peso por acervos presentó diferencias significativas y con base a ello es posible integrar dos grupos; un grupo comprende los acervos Guerrero, Montecillo, Oaxaca, Puebla 1 y Puebla 2; y el otro grupo que presentó el menor porcentaje de pérdida de peso se integró con los acervos Campeche, Estado de México, Yucatán y el del híbrido y líneas derivadas, este último presentó el valor más bajo (Figura 17).

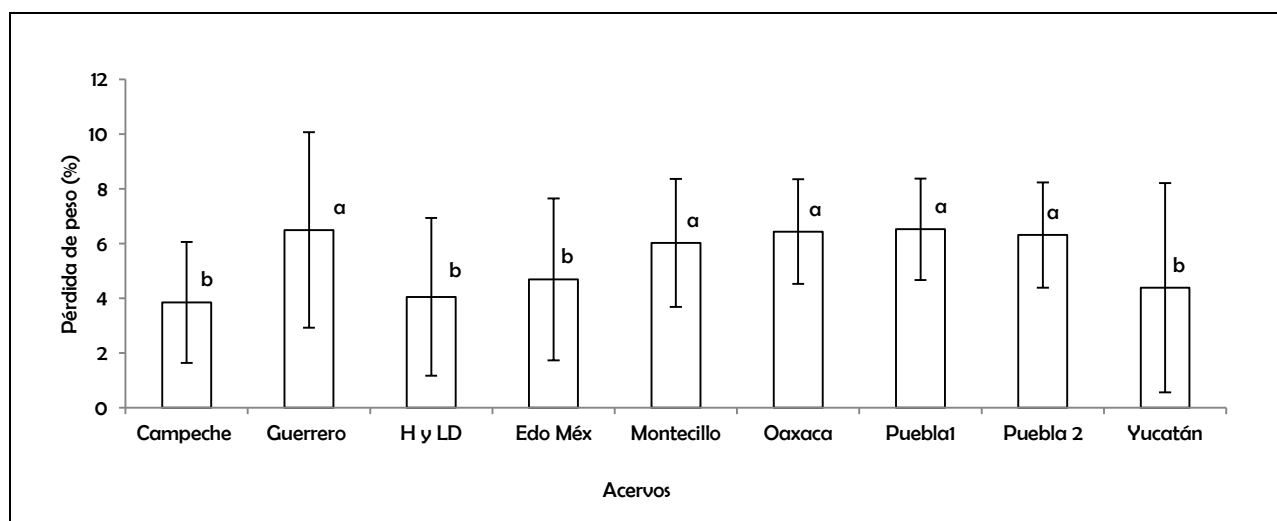


Figura 17. Pérdida de peso de frutos de jitomate en nueve acervos. Las barras corresponden al promedio de cinco estados de madurez. Montecillo, Estado de México. 2008.

La interacción de los dos factores (estado de madurez x acervo), fue significativa (Figura 18). La pérdida de peso es diferencial entre orígenes. Los acervos Guerrero y Oaxaca tienen la velocidad de pérdida de peso mayor ($\beta=2.03$ para ambos), contrariamente el valor más bajo correspondió al acervo de materiales mejorados (1.31). Este resultado confirma lo esperado, ya que las variedades comerciales han sido mejoradas principalmente para prolongar la vida de anaquel, en tanto que en las poblaciones nativas la selección se ha dirigido bajo otros criterios de calidad, en los que la vida de anaquel es un criterio de menor prioridad.

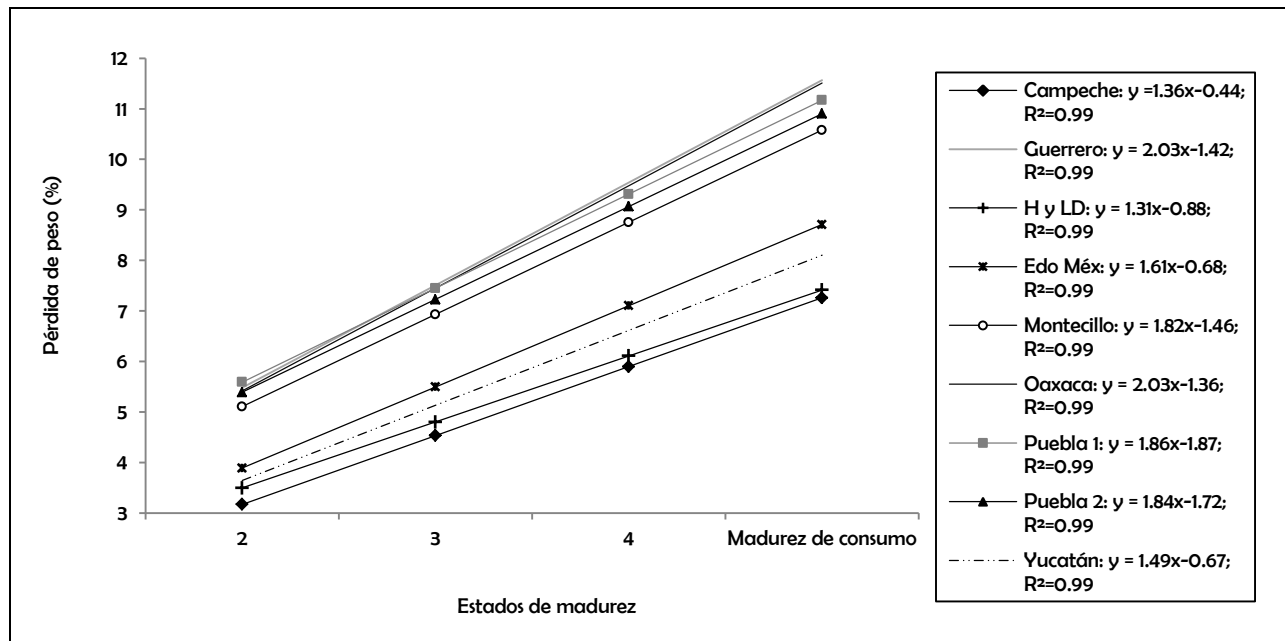


Figura 18. Interacción acervos x estados de madurez para pérdida de peso de frutos de jitomate. Montecillo, Estado de México, 2008.

3. Diversidad en calidad externa en madurez de consumo

El análisis de componentes principales (Cuadro 5) mostró que la mayor parte de la variación (78.96 %) se explica con los dos primeros componentes principales (CP), que integran seis variables. La variable L y el porcentaje de pérdida de peso (PP) contribuyeron mínimamente a explicar la variabilidad ambos componentes. Las características de mayor contribución al CP1 fueron: Firmeza, peso, Croma y Vida de anaquel; en tanto que, en el CP2 fueron ángulo de tono e índice de color. La variación en las características de calidad externa entre las poblaciones de

los acervos nativos y el grupo de cultivares modernos evaluados se debió principalmente al peso, la vida de anaquel y el color.

Cuadro 5. Vectores y valores propios de los componentes principales 1 y 2, con base en ocho características de calidad externa de frutos de jitomate de acervos nativos y un grupo de materiales mejorados. Montecillo, Estado de México, 2008.

Característica	CP1	CP2
Firmeza (N)	0.429413	0.289147
Luminosidad	-0.255416	0.109696
Angulo de tono (°)	-0.158062	0.599275
Croma	0.426529	0.165878
Índice de Color	0.143754	-0.593104
Pérdida de peso (%)	-0.37977	0.181868
Vida de anaquel (días)	0.409655	0.341966
Peso (g)	0.459073	-0.126196
Vectores propios	3.935322	2.381209
Varianza Explicada	0.49	0.30
Varianza acumulada	0.49	0.79

CP: Componente Principal; Firmeza (N):Newtons; Tono (°): grados sexagesimales; Peso (g): gramos

La representación gráfica de la dispersión de los acervos, con base en los dos primeros componentes de calidad externa, muestra la clara separación de los acervos por el origen de las poblaciones nativas (Figura 19). El grupo de híbridos y derivados se ubicó en el extremo del primer cuadrante, separándose ampliamente de las poblaciones nativas, y mostró mayor similitud con los acervos Puebla 2 y Montecillo en el color rojo. En el Cuadrante IV se agrupan los acervos de Campeche, Yucatán y Oaxaca, posiblemente debido a superiores cantidades de licopeno que contienen las poblaciones nativas de estos acervos, así como por poseer frutos más grandes, similar al de las variedades comerciales, aspectos que denotan el valor de estos acervos como fuentes de germoplasma en programas de mejoramiento para la obtención de variedades con mejores atributos de calidad externa, y su valor como variedades comerciales para mercados especializados y aún para exportación.

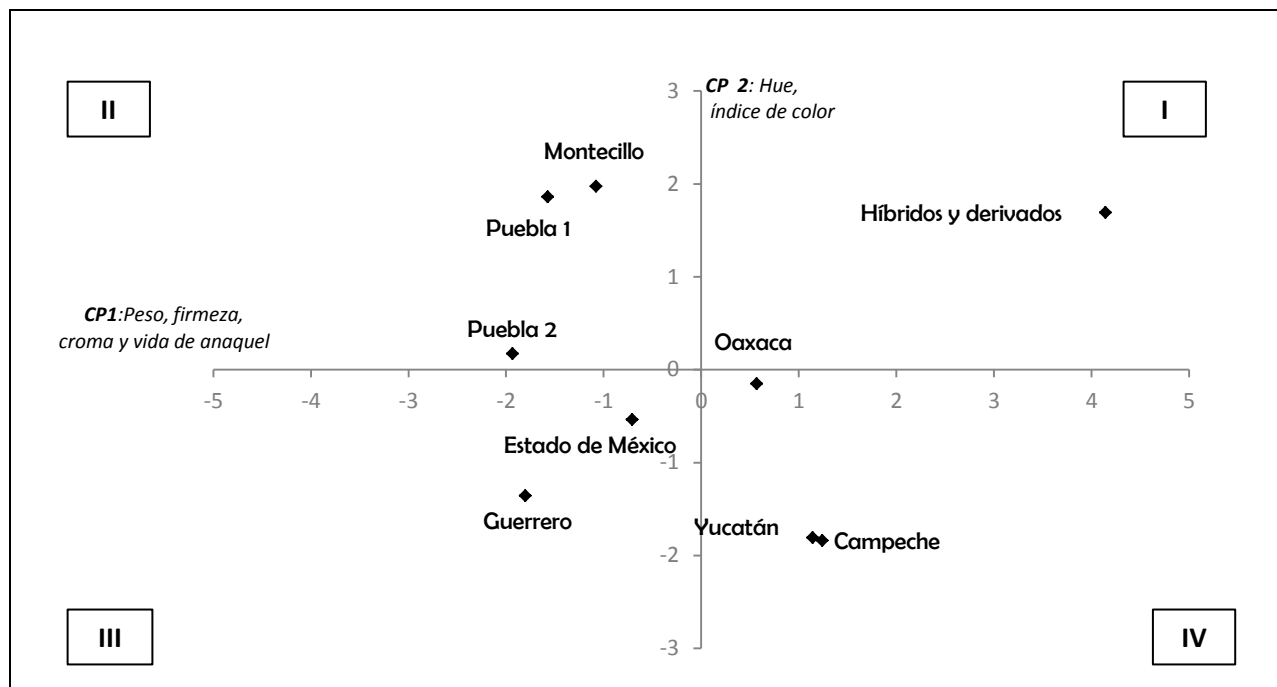


Figura 19. Dispersión de calidad externa de frutos de jitomate de nueve acervos con base en el primero y segundo componentes principales. Montecillo, Estado de México, 2008.

En el cuadrante II se ubican muy cercanamente los acervos LD-Mo, Puebla1, Puebla 2 por sus características de tamaño, forma y color, ya que son en su mayoría de tipo cereza (cherry). Las poblaciones nativas de estos acervos representan una excelente oportunidad para la generación de variedades nacionales de este tipo de cultivares. En el cuadrante III se agrupan los acervos de Guerrero y Estado de México, estos acervos tienen características superiores de color, tamaño y forma, aunque su vida de anaquel es corta. La cercanía del agrupamiento de los acervos de Campeche y Yucatán es evidente, y se puede atribuir a la cercanía geográfica de ambos orígenes, que pudo permitir el intercambio de germoplasma entre los productores de la Península.

Las variedades mejoradas se han desarrollado principalmente con el objetivo de incrementar tamaño y vida de anaquel, por lo que estas variedades se separan de las nativas; el color en frutos maduros es otra diferencia importante entre ambos grupos poblacionales (variedades mejoradas y poblaciones nativas). El desarrollo de las variedades ha seguido una tendencia divergente, ya que en las poblaciones nativas autóctonas los criterios de calidad interna han sido de mayor importancia y han persistido hasta el presente, en tanto que en las poblaciones mejoradas modernas los atributos de calidad externa han sido prioridad.

En el análisis de conglomerados presenta una distribución similar al de los componentes principales. A la distancia de ligamiento 5.25 (Figura 20), las poblaciones se separan en dos grandes grupos en uno se encuentran las poblaciones LD-Gn, K, Y que son las correspondientes a los híbridos y líneas derivadas, además de dos poblaciones nativas; mientras que en otro grupo se encuentran las restantes 29 poblaciones nativas y la LD-Mo derivada. Estas poblaciones presentaron similitudes en la vida de anaquel principalmente.

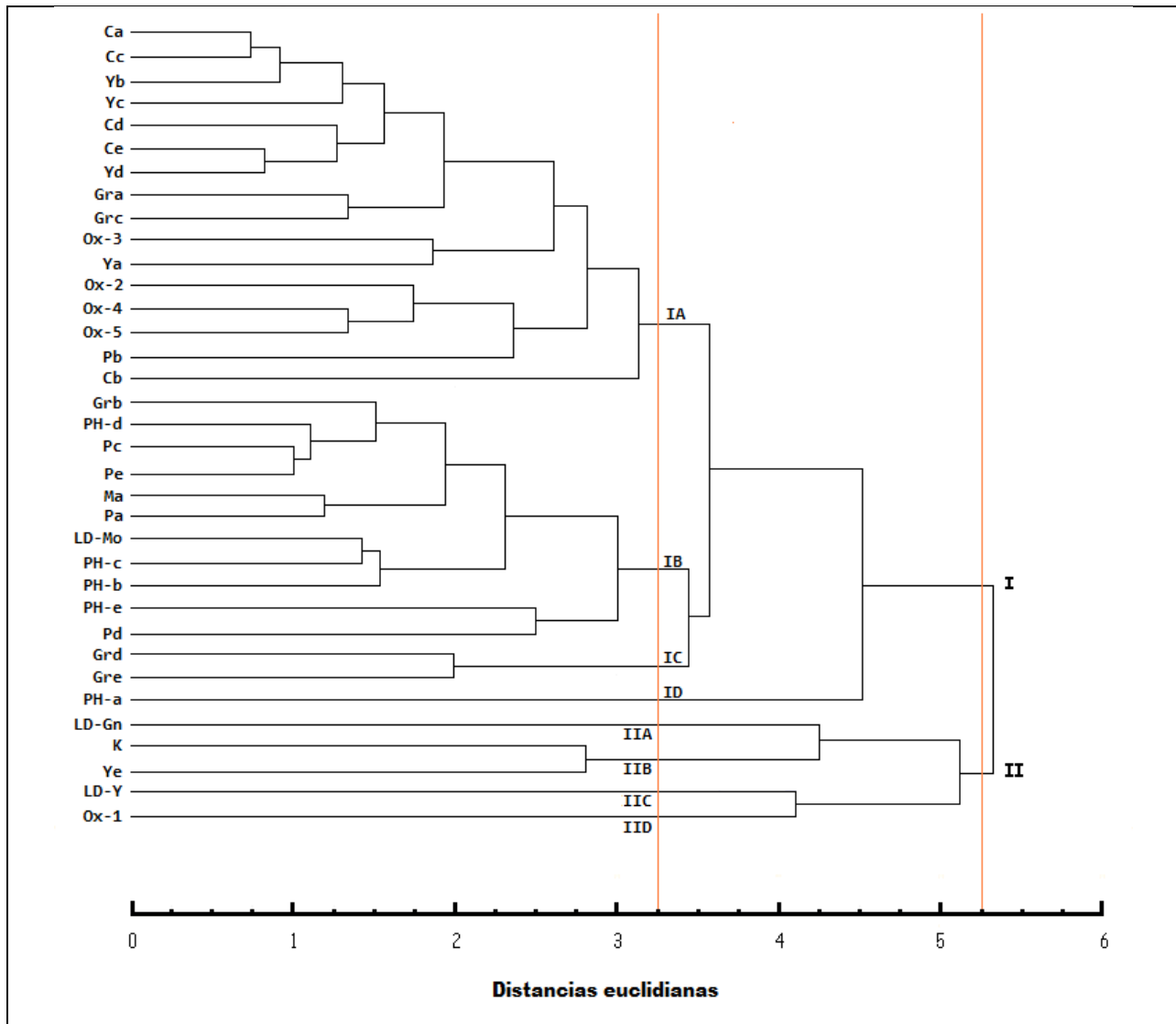


Figura 20. Agrupamiento de 31 poblaciones de jitomate nativas, 3 líneas derivadas y el híbrido comercial Caimán con base en ocho variables de calidad externa. Montecillo, Estado de México, 2008.

En una distancia menor 3.25, el grupo I del primer corte se subdividió en cuatro grupos (IA, IB, IC, e ID). Las poblaciones del subgrupo IA son dieciséis, este grupo tiene similitudes en el color rojo, las poblaciones presentaron los mayores colores rojos, a pesar de que en peso existe una amplia variabilidad; el tamaño de los frutos fue intermedio sin presencia frutos de tamaño cherry.

CONCLUSIONES

La evolución de las características de calidad externa difiere con el origen de los acervos. Es posible tener valores muy altos de firmeza cuando los frutos alcanzan la madurez fisiológica asimismo, al evolucionar el proceso de maduración y debido a las diferencias en la actividad de los complejos enzimáticos, las características de los frutos en madurez comestible resultan diferentes.

Las características de calidad externa en las que existe mayor variabilidad fueron: firmeza, peso, croma y vida de anaquel; los rasgos que cuantifican el color rojo en los frutos también fueron ampliamente diversos.

Las características de calidad externa en las que existe mayor variabilidad fueron firmeza, peso, croma y vida de anaquel; los rasgos que determinan el color rojo en los frutos también fueron ampliamente diversos.

Los análisis de componentes principales muestran la diversidad en las características de calidad externa; con esto se puede ver que existen características propias en los frutos de jitomate nativo por cada lugar de origen; es decir, cada acervo tiene rasgos particulares, existiendo un grado de diferenciación local que permite ubicar a las poblaciones nativas de acuerdo a su origen.

Existió también variación en calidad externa entre poblaciones dentro de un acervo, lo cual indica la gran diversidad que existe en el país.

Existe diversificación clara entre las poblaciones nativas y los materiales mejorados, a pesar de que en algunos de los parámetros de calidad externa coincidan como las poblaciones Ox1 y Ye tienen características que permite distinguirlas; existen poblaciones con atributos que permitirían mejorar la calidad en la generación de híbridos, principalmente los acervos Yucatán y Puebla pueden ser ampliamente útiles para mejorar color

LITERATURA CITADA

- Arias,R., T. Lee, L.Logendra y H Janes. 2000. Correlation of lycopene measured by HPLC with the L^* , a^* , b^* color readings of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. *Journal of Agricultural food chemistry*. 48: 1697-1702.
- Artés, F., y F. Artés-Hernández. 2004. Tratamientos postrecolección del tomate fresco. Tendencias e innovaciones. En: *Tomates. Producción y comercio*. Ediciones de Horticultura S.L. Reus (España). Capítulo 10: 109-120.
- Baldwin, E. A., M. O. Nisperos-Carriedo, R. Baker y J. W. Scott. 1991. Quantitative analysis of flavor parameters in six Florida tomato cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 39:1135-40.
- Batu, A. 2004. Determination of acceptable firmness and colour values of tomatoes. *Journal of Food Engineering* 61: 471-475.
- Binoy, G., C. Kaur, D. S. Khudiya, y H. C. Kapoor. 2004. Antioxidants in tomato (*Lycopersicon esculentum*) as a function of genotype. *Food Chemistry* 84: 45-51.
- Bombelli, C. E.y R. E. Wright. 2006. Efecto del bicarbonato de potasio sobre la calidad del tomate y acción sobre *Botrytis cinerea* en poscosecha. *Ciencia e Investigación Agraria*. 33:197-203.
- Borghesi, E., M. González-Miret, M. L. Escudero G., M. L. Meléndez M.,A. J. Malorgio y F. Heredia M. 2010. Influencia del tipo de cultivo en el color y el contenido en pigmentos de diferentes variedades de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)”. En: IX Congreso Nacional del

- color: Alicante, 29 y 30 de junio, 1 y 2 de julio de 2010. San Vicente del Raspeig : Publicaciones de la Universidad de Alicante, 2010. ISBN 978-84-9717-144-1, pp. 284-287.
- Bourgault, R. y J. D. Bewley. 2002. Variation in its C-Terminal amino acids determines whether endo β -Mannanase is active or inactive in ripening tomato fruits of different cultivars. *Plant Physiology*.130: 1254-1262.
- Carrari, F., y A. R. Fernie. 2006. Metabolic regulation underlying tomato fruit development. *Journal of Experimental Botany*. 57:1883–1897.
- Causse, M., M. Buret, K. Robini y P. Verschave. 2003. Inheritance of Nutritional and Sensory Quality Traits in Fresh Market Tomato and Relation to Consumer Preferences. *Journal of Food Science*. 68: 2342-2350.
- Chaib, J., M. F. Devaux, M. G. Grotte, K. Robini, M. Causse, M. Lahaye y I. Marty. 2007. Physiological relationships among physical, sensory, and morphological attributes of texture in tomato fruits. *Journal of Experimental Botany*. 58:1915–1925.
- Fernie, R. A., Y. Tadmor y D. Zamir. 2006. Natural genetic variation for improving crop quality. *Current Opinion in Plant Biology*. 9:196-202.
- Foolad, R. M. 2007. Genome Mapping and Molecular Breeding of Tomato. *International Journal of Plant Genomics*. 2007:64358.
- García, L. A., C. G. Guzman y N. J. Soriano. 2004. Evaluación de variedades locales de tomate para su conservación “insitu” en agricultura ecológica. IV Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica. Córdoba, España.
- Greenpeace 2000. Centros de Diversidad. La riqueza biológica de los cultivos tradicionales, herencia mundial amenazada por la contaminación genética. Informe de Greenpeace elaborado por van Aken, J. Greenpeace México, kinética buró creativo/Elsa Marin. México, D. F. p:32-34
- International Rules for Seed Testing (ISTA). 2005. *In*: Seed Testing Association. Germination. The International Seed Testing Association. Anexo 5. 5A-27.
- Jones, R. A. 1986. Breeding for improved post-harvest tomato quality: genetical aspects. *Acta Horticulturae* 190:77–87
- Liu, Y.-S., A. Gur, G. Ronen, M. Causse, R. Damidaux, M. Buret, J. Hirschberg y D Zamir.. There is more to tomato fruit colour than candidate carotenoid genes. *Plant Biotechnology Journal*. 1, 195–207

- López, C. A. F. y P. A. Gómez. 2004. Comparison of color indexes for tomato ripening. *Horticultura Brasileira*. 22:534-537
- Maiti, R. K., B. Amitava, N. C. Sarkar, R. R. Bhagowati y P. J. Hernández. 2008. Research advances in food value and food products. *Biochemistry and biotechnology*. 1:261-286.
- McGuire, R. G. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27:1254
- Nuez Fernando. 2001. El cultivo de jitomate. Mundi- Prensa. 793 pp. 255.
- Odriozola-Serrano, I., R. Soliva-Furtuny, y M. Belloso O. 2008. Effect of minimal processing on bioactive compounds and color attributes of fresh-cut tomatoes. *LWT-Food Science and Technology*. 41:217–226.
- 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.
- Rick, C. M. and J. Fobes. 1975. Allozyme variation in cultivated tomato and closely related species. *Bulletin of the Torrey Botanical Club*. 102: 376-384.
- Rodríguez, R. G., G. R. Pratta, R. Zorzoli y A. L. Picardi. 2006. Evaluation of plant and fruit traits in recombinant inbred lines of tomato obtained from a cross between *Lycopersicon esculentum* and *L. pimpinellifolium*. *Ciencia e Investigación Agraria*. 33:111-118.
- Rodríguez-Rodríguez, R., J. Tabares-Rodríguez, Medina San Juan. 1989. El cultivo moderno del tomate. Mundi-Prensa.
- Saladie, M., A. J. Matas, T. Isaacson, M. A. Jenks, S. M. Goodwin, K. J. Niklas, R. Xiaolin, J. M. Labavitch, K. A. Shackel, A. R. Fernie, A. Lytovchenko, M. A. O'Neill, C. B. Watkins, y J. K. C. Rose. 2007. A reevaluation of the key factors that influence tomato fruit softening and integrity. *Plant physiology*. 144: 1012–1028.
- Saliba-Colombani, V., M. Causse, D. Langlois, J. Philouze y M. Buret. 2001. Genetic analysis of organoleptic quality in fresh market tomato. 1. Mapping QTLs for physical and chemical traits. *Theoretical and Applied Genetics*. 102:259–272
- Suslow, T. V. y M. Cantwell. 2000. Recomendaciones para Mantener la Calidad Postcosecha. Department of Vegetable Crops, University of Davis, California. 5p.
- Tanksley S. D. and T. M. Fulton. 2007. Dissecting quantitative trait variation-examples from the tomato. *Euphytica*. 154:365-370.

- Tanksley S. D. y S. R. McCouch. 1997. Seed banks and molecular maps: unlocking genetic potential from the wild. *Science*. 277: 1063-1066.
- Thompson, K. A., M. R. Marshall, C. A. Sims, C. I. Wei, S. A. Sargent y J. W. Scott. 2000. Cultivar, maturity, and heat treatments on lycopene content in tomatoes, *Journal of Food Science*. 65:5.
- USDA. 2001. United States. Standards for Grades of Fresh Tomatoes.
- Vilas, B. E.V. de B., A. Bosco C., W. R. Maluf, y M. I. Fernández C., 1999. Influência do alelo alcobaça em heterozigose sobre a vida de prateleira e qualidade pós-colheita de tomates. *Ciência e Agrotecnologia*. 23:650-657.

CAPÍTULO III

CALIDAD INTERNA DEL FRUTO EN ACERVOS NATIVOS DE JITOMATE MEXICANO

RESUMEN

El mejoramiento de la calidad interna ha tenido obstáculos por la complejidad de las características que la determinan, algunos de los cuales pueden ser antagónicos entres sí. En este estudio se evaluaron en frutos de 31 poblaciones nativas de México, un híbrido comercial y tres líneas derivadas, las características siguientes: pH, acidez titulable, concentración de sólidos solubles totales, índice de madurez y respiración.

Se encontró diversidad en la calidad interna en todas las características evaluadas. Las poblaciones nativas mostraron mayor intensidad de sabor, dada sus concentraciones de sólidos solubles totales y acidez titulable. Las diferencias en los cambios en la concentración de sólidos solubles, acidez titulable y el índice de madurez estuvieron relacionadas con el origen de las poblaciones nativas. La variabilidad observada en las características de calidad interna en las poblaciones nativas puede ser aprovechada para el mejoramiento de las características de los frutos y para la generación de variedades mejoradas de origen nativo, con características de valor comercial y agronómico.

INTRODUCCIÓN

Durante la madurez de los frutos de jitomate, se producen cambios fisiológicos y bioquímicos (Zorzoli *et al.*, 2000). Cuando los frutos son cosechados maduran rápidamente, lo que da como resultado la pérdida de calidad y la reducción de la vida de anaquel (Batu, 2004).

Las características que definen la calidad del jitomate son importantes para su comercialización, ya sea para ser consumido en fresco o procesado (Stevens, 1986). La calidad del fruto está determinada por factores externos e internos. En la obtención de las actuales variedades comerciales se ha prestado mayor atención a la calidad externa que a la interna (Kaur *et al.*, 2007); en gran medida por que la decisión de compra del consumidor se basa en el aspecto exterior, a pesar de que las adquisiciones posteriores dependen fundamentalmente de la evaluación que se hace al momento del consumo (Rodríguez-Rodríguez *et al.*, 1989). Entre los atributos de calidad interna se encuentran los relacionados con el sabor, el aroma, la acidez, el contenido de sólidos solubles, así como características relacionadas con la calidad nutricional (Nuez, 2001).

El sabor es una característica organoléptica muy compleja. Los parámetros sensoriales determinantes de esta característica, que pudieran ayudar a los fitomejoradores a seleccionar con mayor eficiencia en base a este atributo, no han sido debidamente caracterizados (Lecomte *et al.*, 2004(a)). En este contexto, la calidad organoléptica ha sido relacionada con parámetros fisicoquímicos que son buenos indicadores del sabor como el contenido de azúcares y ácidos orgánicos, así como la relación azúcares/acidez (Anza y Riga, 2007).

Uno de los principales objetivos en el mejoramiento de jitomate ha sido el aumento del contenido de sólidos solubles totales (SST), porque se ha encontrado una relación directa entre los sólidos solubles y la intensidad del sabor (Gómez y Camelo, 2002). Adicionalmente se ha buscado incrementar la acidez también para mejorar sabor; así mismo el aumento de este parámetro se asocia con la calidad para su procesamiento en la industria alimenticia (Baxter *et al.*, 2005). Con base en el análisis sensorial, el dulzor y la acidez han mostrado ser los principales factores determinantes en la preferencia de sabor del jitomate (Causse *et al.*, 2002).

El mejoramiento en calidad organoléptica del jitomate para consumo en fresco se produce principalmente a través de la necesidades de mejora del jitomate para proceso industrial (Nuez, 2001).

Se ha utilizado la relación SST/acidez titulable para evaluar el sabor, mediante este cociente se pueden establecer diferencias en sabor de los cultivares de jitomate (Gómez y Camelo, 2002). El cociente SST/acidez que recibe el nombre de índice de madurez, suele ser un mejor indicador en el impacto del sabor, que el contenido de sólidos solubles o la acidez por sí mismos (Hernández *et al.*, 2007).

La concentración de sólidos solubles se define como la cantidad de compuestos presentes en el extracto de los frutos; y en jitomate los principales componentes son los azúcares (glucosa y fructosa, principalmente), que constituyen cerca del 65% de la materia seca (Ruiz *et al.*, 2005), el restante 35% está compuesto principalmente ácidos (cítrico y málico), aminoácidos, lípidos y minerales (Gómez y Camelo, 2002). El contenido de agua en los frutos maduros afecta la concentración de los sólidos solubles (Martínez-Barajas, 2003).

Los frutos de especies silvestres de *Lycopersicon* pueden almacenar sacarosa, por lo que tienen altos contenidos de sólidos solubles (% peso/peso), en relación a las variedades cultivadas (Stommel, 1992; Fridman *et al.*, 2000), por lo cual se han usado como fuente de germoplasma para mejorar esta característica. (Martínez-Barajas, 2003).

La acidez libre o acidez titulable representa los ácidos orgánicos que se encuentran libres y se mide neutralizando los jugos o extractos de frutas con una base fuerte. Los ácidos orgánicos son importantes por su efecto tanto en el sabor del fruto como en los procesos de industrialización (Anthon, *et al.*, 2011). La acidez del jitomate tiene un fuerte componente genético ya que está determinado en gran medida por la variedad (Nuez, 2001). La relación de la acidez titulable y el pH es compleja, y es conveniente medir ambas características, debido a que sus valores influyen en el almacenamiento (Sies y Stahl, 1998; Saliba-Colombani *et al.* 2001).

El pH es un atributo importante para el procesamiento de jitomate; los frutos de esta hortaliza no tienen baja acidez y por lo tanto requiere tratamientos térmicos adicionales para la destrucción de microorganismos; un valor de pH de 4.4 es el máximo permitido por seguridad, un valor óptimo es de 4.25 (Anthon, *et al.*, 2011).

La velocidad de respiración es un indicador de la actividad metabólica y por lo tanto de la rapidez de los cambios asociados con la maduración (Kays, 1991); está frecuentemente asociada con la vida de anaquel del producto fresco, de tal manera que las variedades con tasas respiratorias bajas tienen vida postcosecha más larga (Odriozola- Serrano *et al.*, 2008); así mismo es una guía para las condiciones de almacenamiento que se deben emplear después de la cosecha. Los frutos de jitomate tienen una intensa actividad respiratoria (Artés y Artés-Hernández, 2004), y es cuantificada a través del análisis de la producción de CO₂, y representa uno de los indicadores más importante de senescencia; una disminución en la velocidad de respiración durante el almacenamiento es benéfica para mantener la calidad (Calegario *et al.*, 2001).

En la mejora de la calidad una posibilidad en la obtención de nuevas variedades consiste en la utilización tanto de las actuales líneas mejoradas como de los cultivares tradicionales o nativos. En todo el mundo tecnológicamente avanzado se tiene conciencia acerca de la importancia de las poblaciones nativas como recursos fitogenéticos potenciales para el futuro, por lo que las actividades de recolección, conservación, caracterización y documentación de estos materiales se han intensificado (Nuez, 2001).

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar características de calidad interna en frutos de jitomate en diferentes estados de madurez en poblaciones de ocho acervos genéticos de jitomate autóctono de México, bajo la hipótesis de que existe una amplia diversidad en los caracteres de calidad interna en los frutos de poblaciones de acervos genéticos de siete regiones de México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los aspectos relacionados con el material biológico evaluado, manejo de experimento y muestreo de frutos, se describe en el capítulo II, Calidad externa del fruto en acervos nativos de jitomate mexicano. Las mediciones se realizaron en el Laboratorio de Tecnología Postcosecha del Postgrado en Recursos Genéticos y Productividad, en el Campus Montecillo, Estado de México.

1. Características evaluadas

Las características evaluadas en esta parte de la investigación fueron pH, porcentaje de sólidos solubles totales, acidez titulable, velocidad de respiración e índice de madurez.

pH

Se determinó con un potenciómetro (Corning, modelo 12) en la pulpa de los frutos molidos y homogenizados preparados para acidez titulable.

Sólidos solubles totales

La muestra se constituyó de tres frutos que se molieron para extraer el jugo. Los sólidos solubles totales se midieron mediante un refractómetro de mano digital (Atago, modelo 100) con escala de 0 a 32 %, colocando una muestra de jugo sobre la celda del aparato, en cada medición se calibró con agua destilada. Los resultados se expresaron como porcentaje de sólidos solubles totales (%p/p).

Acidez titulable

Se utilizó el método de la AOAC, (1990). La muestra se conformó con tres frutos en diferentes estados de madurez, que fueron previamente molidos y homogeneizados, se pesaron 10 g de puré a los que se agregó 50 mL de agua destilada. Se midió el volumen total y posteriormente se tomó una alícuota de 10 mL a la que se le se agregaron 3 gotas de fenolftaleína como indicador y se tituló con NaOH al 0.1 N.

El porcentaje de acidez, con base en ácido cítrico, se calculó con la siguiente expresión:

$$\text{Porcentaje de ácido} = \frac{mLNaOH \times NNaOH \times meq \times VT \times 100}{A \times g}$$

Donde; mL de NaOH fueron los mililitros de hidróxido de sodio gastados en la titulación; N fue la normalidad del hidróxido de sodio; meq representa los miliequivalentes del ácido cítrico (0.064); V fue el volumen (mL de agua destilada más gramos del puré); A: la alícuota tomada para la medición y g el peso del puré (10g).

Velocidad de respiración

Se utilizó un método estático. En un recipiente hermético de 1 L o de 4 L dependiendo del peso, se colocaron las muestras constituidas de 3 frutos, por un lapso de una hora. Al término de este tiempo se tomó una muestra de 1 mL del espacio de cabeza del recipiente y se midió la concentración de CO₂ mediante un cromatógrafo de gases (Hewlett Packard, modelo 5890) que operó a presión constante de 10 psi y usó helio como gas de arrastre con flujo de 20 mL/minuto. La temperatura de los detectores de conductividad térmica (TCD) y de ionización de flama (FID) fue de 170 °C; en el inyector se tuvieron 150 °C y en el horno 80 °C. Por otra parte, se empleó una columna capilar de 25 m x 0.32 mm de diámetro interno. El tiempo de corrimiento fue de 6 min; adicionalmente se inyectaron muestras de un estándar con 492 ppm. Los datos se reportaron como mLCO₂kg⁻¹h⁻¹.

Índice de madurez (relación SST/acidez)

Este índice se calculó con las estimaciones de porciento de sólidos solubles totales y el porcentaje de ácido cítrico como se muestra en la relación siguiente:

$$IM = \frac{\% SST}{\text{acidez titulable}}$$

2. Análisis de resultados

Para evaluar la evolución de madurez, se utilizó un arreglo factorial (acervos x estados de madurez), como se describe en el capítulo II. La diversidad de la calidad se analizó mediante un análisis de componentes principales y las relaciones de similitud utilizando las distancias euclidianas en forma similar a la descrita en el Capítulo II.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Evolución de la madurez

Las características de calidad interna mostraron diferencias altamente significativas de acuerdo al análisis de varianza (Cuadro 6) en todos los estados de madurez; el pH no mostró diferencias significativas entre acervos; y las interacciones para sólidos solubles totales, acidez titulable y el índice de madurez fueron significativas, no así para pH y velocidad de respiración (CO₂).

Los resultados mostraron la variación entre acervos para las características que definen la calidad interna, así como fuertes diferencias que se dan entre etapas de maduración. La significancia de la interacción para las variables sólidos solubles, acidez titulable y el índice de madurez muestra las diferencias determinadas por el origen de los acervos durante el proceso de maduración en las características bajo estudio.

Cuadro 6. Análisis de varianza de los factores de estudio para las características de calidad interna de jitomate de acervos nativos. Montecillo, Estado de México 2008.

Fuentes de variación	SST	pH	% Ácido Cítrico	SST/ acidez	CO ₂ (mL Kg ⁻¹ h ⁻¹)
Repetición	0.141	0.070	0.0050	0.222	29.238
Estado	0.178 **	0.095 *	0.0192 **	5.871 **	4953.038 **
Acervo	0.118 **	0.013 NS	0.0087 **	3.506 **	416.502 **
Estado*Acervos	0.112 **	0.017 NS	0.0056 **	2.121 **	120.159 NS

** Altamente significativa con $\alpha=0.01$; * Significativo $\alpha=0.05$; NS = No significativo

En el Cuadro 7 se muestran los intervalos de variación, los promedios, las desviaciones estándar y los coeficientes de variación de 5 características de calidad interna del fruto evaluadas, en 5 diferentes estados de madurez. La respiración de los frutos como respuesta al proceso de madurez presentó consistencia en la variación a través de las diferentes etapas de madurez, y fue más homogénea al llegar a la madurez de consumo, donde las diferencias en las tasas de respiración presentaron menor variación entre acervos. A pesar de que la variable pH muestra valores numéricos bajos en los rangos de variación, por tratarse de una escala logarítmica las diferencias

entre un valor y otro pueden ser de importante consideración. En general, las características de calidad interna presentan comportamientos diferentes, y no siguen una tendencia lineal con base a la madurez.

Cuadro 7. Valores promedio, desviación estándar y coeficiente de variación de cinco características de calidad interna en frutos de jitomate, en diferentes estados de madurez. Montecillo, Estado de México, 2008.

Variables de calidad interna	Estado de madurez	Intervalos	Promedio	Desviación estándar	Coefficiente de variación (%)
Sólidos solubles (%p/p)	1	2.5-6.2	3.95	0.54	13.59
pH	1	4.3-5.8	5.29	0.27	5.09
Acidez (% ácido cítrico)	1	0.31-99	0.52	0.14	27.31
SST/acidez	1	4.10-13.02	8.03	1.99	24.82
Respiración (mL CO₂/Kg⁻¹H⁻¹)	1	26.95-149.61	60.45	25.42	42.05
Sólidos solubles (% p/p)	2	3.2-5.4	4.15	0.45	10.93
pH	2	4.3-5.8	5.19	0.31	5.99
Acidez (% ácido cítrico)	2	0.3-.96	0.55	0.16	28.86
SST/acidez	2	4.56-13.52	8.15	2.11	25.89
Respiración (mL CO₂/ Kg⁻¹H⁻¹)	2	12.81-172.91	45.68	19.38	43.82
Sólidos solubles (% p/p)	3	2.85-5.5	4.22	0.52	12.28
pH	3	4.05-5.7	5.19	0.29	5.67
Acidez (% ácido cítrico)	3	0.35-1.08	0.59	0.18	30.47
SST/acidez	3	4.36-12.40	7.68	2.10	27.35
Respiración (mL CO₂/ Kg⁻¹H⁻¹)	3	23.80-72.76	38.91	9.84	25.27
Sólidos solubles (%p/p)	4	3.23-6.3	4.23	0.51	11.97
pH	4	4.6-5.8	5.18	0.25	4.79
Acidez (% ácido cítrico)	4	0.31-0.96	0.58	0.15	25.94
SST/acidez	4	4.74-13.35	7.71	1.96	25.48
Respiración (mL CO₂/ Kg⁻¹H⁻¹)	4	13.20-56.82	30.63	9.75	31.8
Sólidos solubles (%p/p)	5	3.3-5.2	4.21	0.43	10.13
pH	5	4.8-6.1	5.24	0.26	4.99
Acidez (% ácido cítrico)	5	0.27-1.04	0.57	0.18	31.38
SST/acidez	5	4.11-16.28	8.02	2.61	32.51
Respiración (mL CO₂/ Kg⁻¹H⁻¹)	5	10.44-64.16	23.80	8.75	36.72

%p/p: concentración expresado en porcentaje

2. Variación en las características de calidad interna

pH

Esta característica mostró diferencias significativas entre estados de madurez. Los valores más altos se obtuvieron en el momento del corte (5.26), y disminuyeron hasta el estado de madurez 4, para después incrementarse en la madurez de consumo. Este comportamiento es similar a los resultados de Dominique *et al.* (2000), que encontró una reducción del pH conforme avanzó la madurez de 4.56-3.86; Vilas *et al.*, (1999), también obtuvo que el pH de los frutos es influenciado por la etapa de madurez, decreciendo a través de ese proceso, con valores de 4.7-4.0.

Los valores de pH son útiles sobre todo para almacenamiento ya que en la zona ácida se reduce el riesgo de crecimiento de microorganismos. Los resultados obtenidos muestran mayores valores de pH es decir, que son frutos menos ácidos, pero con la misma tendencia a reducirse a través de la madurez; de acuerdo Anthon, *et al.*, (2011), los frutos evaluados no podrían destinarse a la industria debido a que su pH supera 4.4. La evaluación de pH siguió un patrón cuadrático determinado por la expresión $y=0.02x^2-0.13x+5.39$; $R^2=0.88$ (Figura 21).

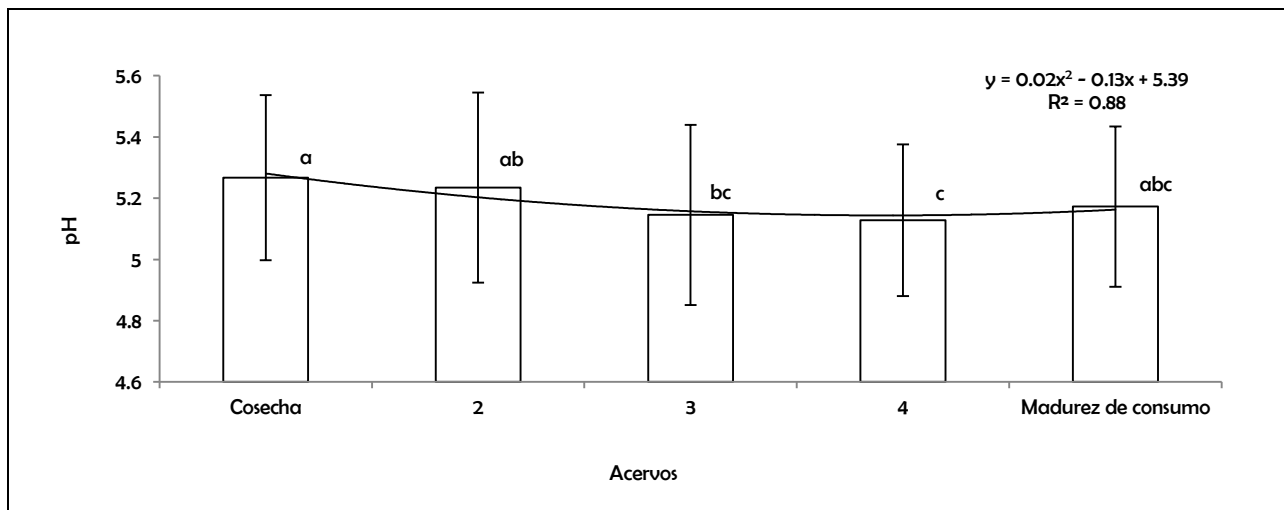


Figura 21. pH en frutos de jitomate en diferentes estados de madurez. Las barras corresponden al promedio de nueve acervos; las líneas verticales a la desviación estándar; la línea curva a la función de regresión. Montecillo, Estado de México, 2008.

En pH no se presentaron diferencias estadísticas entre acervos (Figura 22). Aunque los valores más ácidos correspondieron a Puebla 1, y los menos ácidos correspondieron a Yucatán. La máxima variación ocurrió en el acervo Puebla 2. En esta caso los resultados muestran que el origen del acervo no tiene influencia sobre el valor del pH, y que las diferencias entre los acervos no son suficientemente amplias para determinar diferencias mayores, aunque Gould, (1974).encontró que uno de los factores que intervienen en la determinación del pH es la variedad, además de la madurez y condiciones de crecimiento de la planta, el área geográfica y las labores agrícolas.

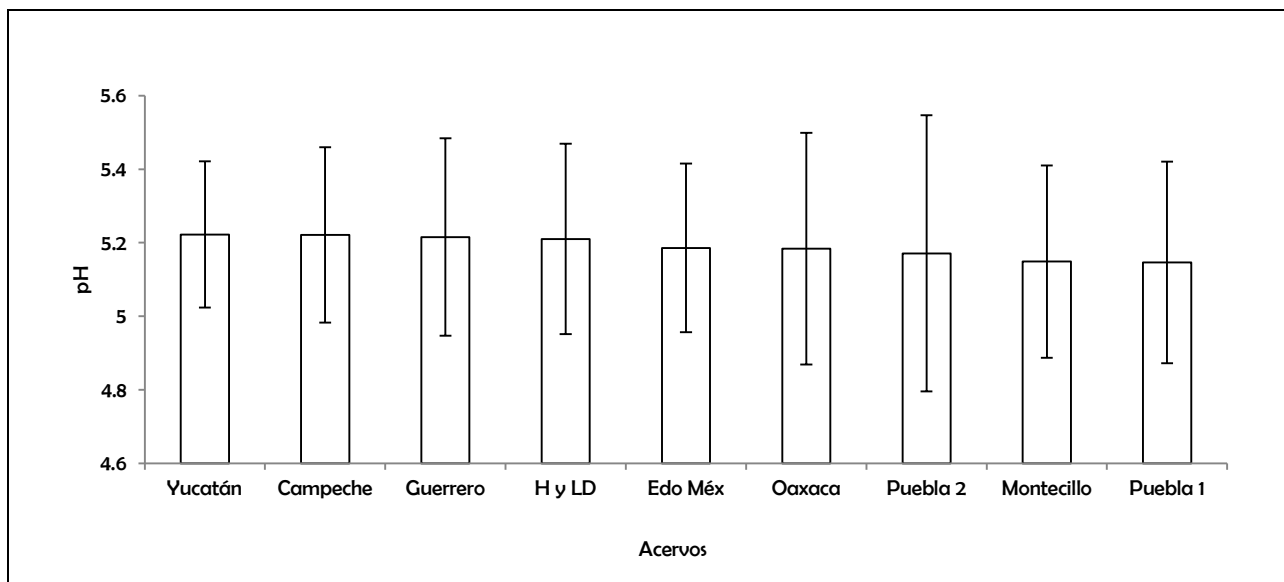


Figura 22. pH de frutos de jitomate de nueve acervos. Las barras corresponden al promedio de cinco estados de madurez; las líneas verticales a la desviación estándar. Montecillo, Estado de México, 2008.

De igual manera la interacción no resultó significativa, lo que indica que los acervos tienen la misma evolución de pH a través de la maduración; a pesar de que el acervo Montecillo presenta un comportamiento ligeramente diferente, ya que en el estado 3 presentó el valor más bajo (Figura 23). Los valores observados en estos acervos en madurez comercial son superiores a los de algunas variedades mejoradas que tuvieron pH de 4.36-4.46 (Odrizola-Serrano *et al.* (2007), 4.5 y 4.7 en el mismo estado de madurez; Parisi *et al.*, (2008) observaron valores entre 4.5 y 4.7; Nuez (2001) encontró valores entre 4.0 y 4.8.

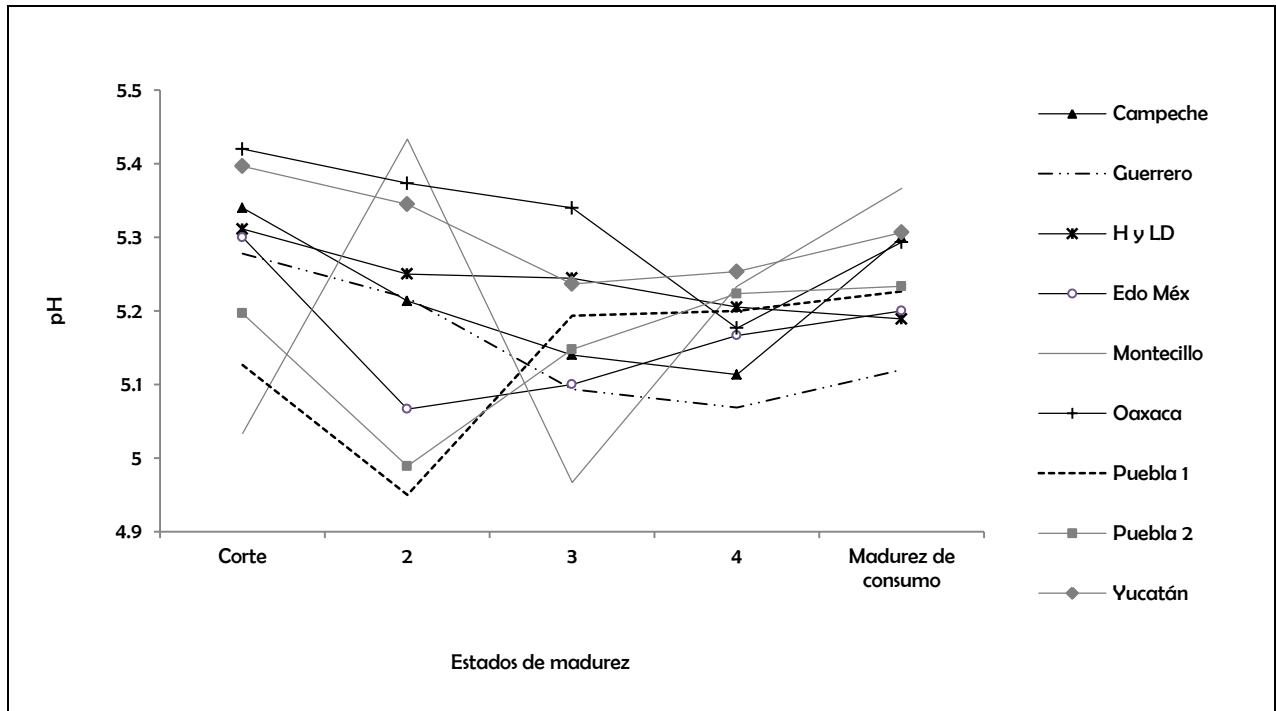


Figura 23. Interacción acervos x estados de madurez para pH de frutos de jitomate. Montecillo, Estado de México, 2008.

Sólidos Solubles Totales (% p/p)

La concentración de Sólidos Solubles Totales (SST) en los frutos fue significativamente diferente ($p \leq 0.05$) entre los diferentes estados de madurez (Figura 24). El mayor porcentaje de SST, se presentó al momento de la cosecha (4.01), en el estado 3 se presentó el valor mínimo de SST (3.82); existe una amplia variación en cada estado de madurez. La acumulación de los SST en los frutos de jitomate no presenta una relación lineal con el avance de la madurez, ya que presentó un comportamiento cuadrático expresado con la ecuación $y = 0.0425x^2 - 0.2613x + 4.2403$; $R^2 = 0.97$ (Figura 24). El incremento en la concentración de los sólidos solubles se ha correlacionado con el incremento en glucosa, fructosa y sacarosa cuando los frutos alcanzan la madurez de consumo, mientras que al inicio de la madurez las diferencias se correlacionan con el contenido de hexosa más que de sacarosa (Baxter *et al.*, 2005).

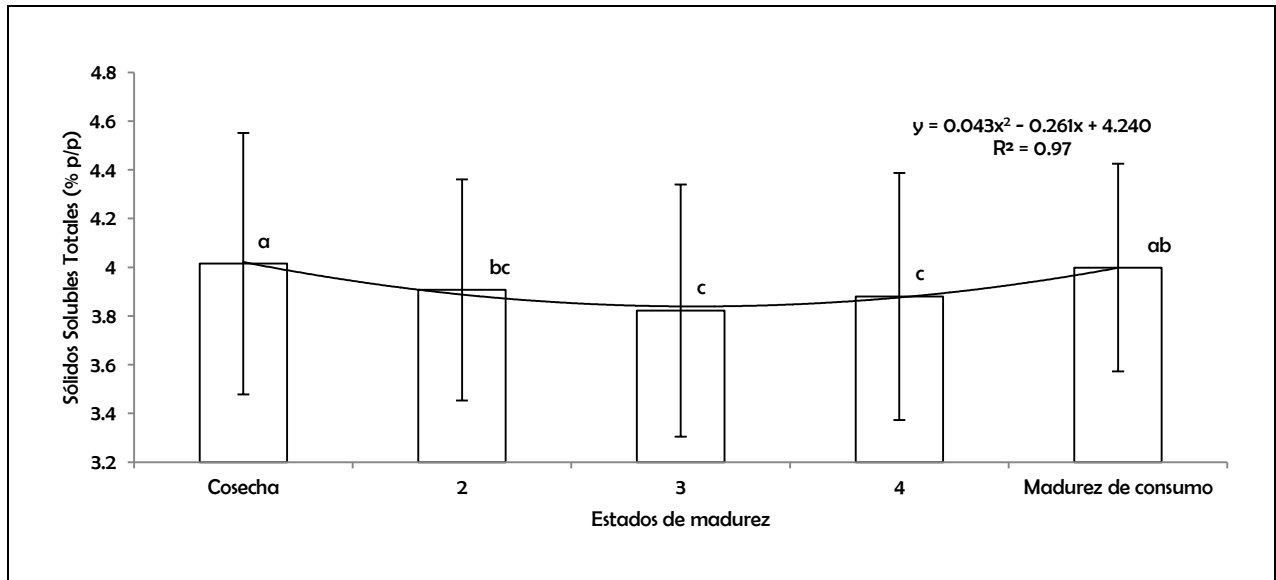


Figura 24. Sólidos solubles totales de jitomate en diferentes estados de madurez. Las barras corresponden al promedio de nueve acervos; las líneas verticales a la desviación estándar; la línea curva a la función de regresión. Montecillo, Estado de México, 2008.

Las diferencias entre acervos fueron altamente significativas (Figura 25). Las diferencias entre variedades de jitomate varían por la forma y abundancia de los metabolitos que determinan el porcentaje de SST, así como por la relación de su concentración y su rendimiento (Baxter *et al.*, 2005). Los acervos Campeche y Yucatán presentan los valores más altos de la concentración de sólidos solubles (4.04 y 4.02, respectivamente) y son ligeramente superiores a los del acervo del híbrido y líneas derivadas (3.98); en tanto que los valores más bajos correspondieron al acervo de Oaxaca; la mayor variabilidad la presentan los acervos de Puebla 2 y Yucatán. A pesar de que se han encontrado variedades con altos valores del porcentaje de SST, ha sido difícil incrementar la concentración en las variedades mejoradas, debido a su naturaleza poligénica; sobre esta característica tiene gran efecto el ambiente y guarda una relación inversa con el rendimiento (Grandillo, *et al.*, 1999).

El contenido de sólidos solubles presente en los genotipos silvestres de jitomate y posiblemente en otras poblaciones cultivadas sin mejoramiento es de importancia ya que se ha mostrado que poblaciones silvestres producen frutos con contenidos de sólidos solubles superior al de las variedades cultivadas (Young *et al.*, 1993); ya que se han encontrado relaciones entre el contenido de sólidos solubles y la firmeza (Borrego *et al.*, 1998).

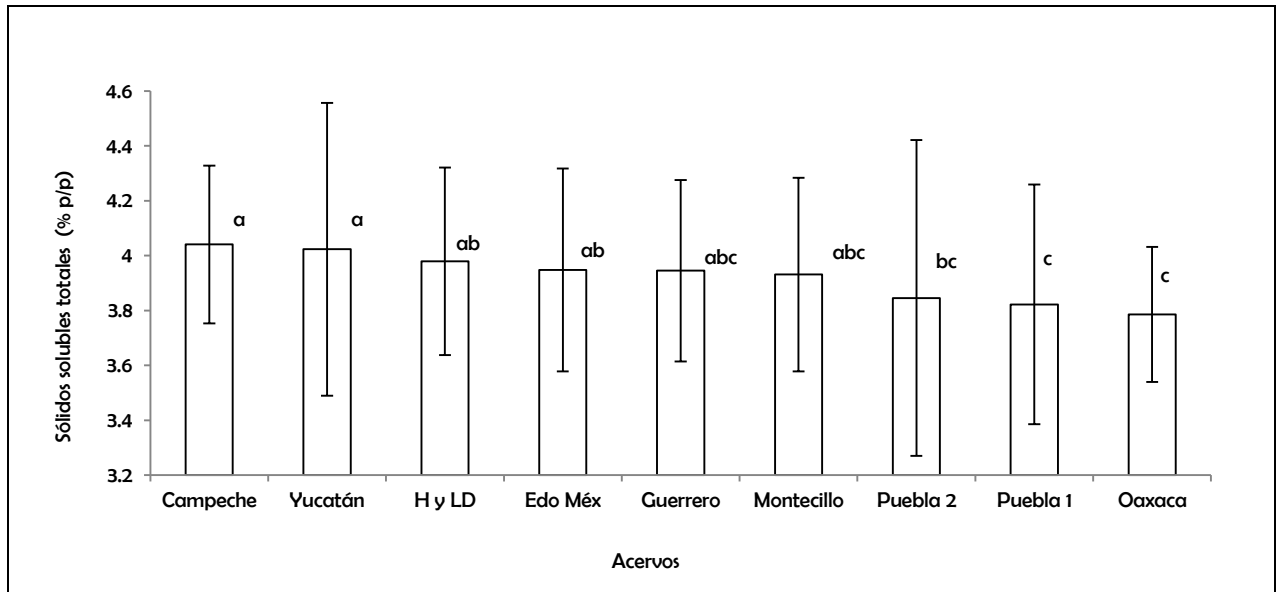


Figura 25. Sólidos solubles totales de frutos de jitomate de nueve. Las barras corresponden al promedio de cinco estados de madurez; las líneas verticales a la desviación estándar; Montecillo, Estado de México, 2008.

La interacción acervo x estado de madurez fue altamente significativa; ya que los acervos presentan diferencias en la acumulación de metabolitos a través de las etapas de madurez, de acuerdo al origen de los materiales (Figura 26). El acervo de Puebla 2 muestra una tendencia a incrementar, mientras que el acervo Montecillo fue irregular. El acervo del híbrido y LD, durante los primeros cuatro estados de madurez presentó pocos cambios en la concentración de SST, y al llegar al estado 4, el porcentaje de sólidos solubles decreció. Los cultivares comerciales que son vendidos en madurez comestible tienen 4.6 % de sólidos solubles, de acuerdo a Binoy *et al.*, (2004), por otra parte Baxter *et al.*, (2005) obtuvo valores de 4.3. Únicamente el acervo Puebla 2 integrado por poblaciones nativas supera esta concentración (4.7 %) en madurez comestible.

Es posible encontrar diferencias en el porcentaje de los sólidos solubles debido a que algunos genotipos silvestres tienen mayor capacidad para acumular sacarosa durante el desarrollo del fruto (Martinez-Barajas 2003); el incremento de porcentaje de SST se debe al incremento de la fructosa y glucosa debida a la actividad de la enzima invertasa, se ha identificado un gen responsable de codificar dicha enzima (Baxter *et al.*, 2005).

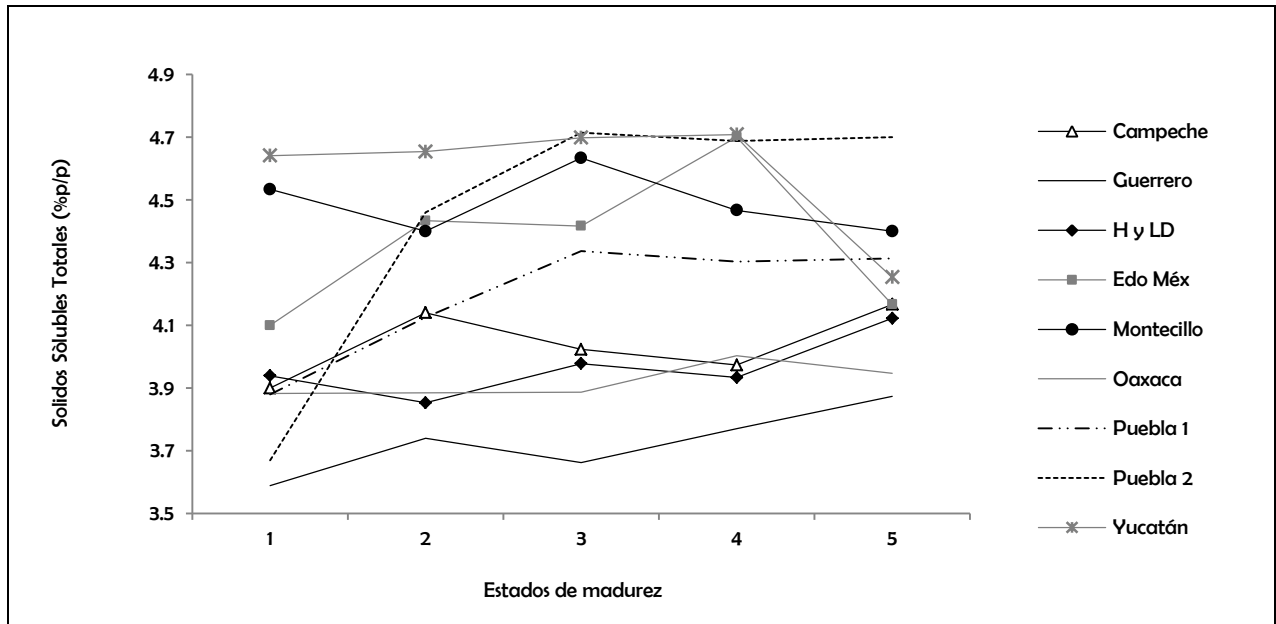


Figura 26. Interacción acervos x estados de madurez de frutos de jitomate de acervos nativos, líneas derivadas y el híbrido Caimán para sólidos solubles totales. la variable SST. Montecillo, 2008.

Acidez titulable

La acidez titulable o porcentaje de ácido cítrico presentó diferencias significativas entre estados de madurez (Figura 27). Los valores más altos se observaron en la madurez 4, para luego decrecer en la madurez de consumo. La evolución de la acidez no muestra una relación lineal o regular a través de los diferentes estados de madurez y es mejor explicada por una función polinómica del tipo, $y = -0.007x^3 + 0.059x^2 - 0.13x + 0.5941$; $R^2 = 0.95$. Este comportamiento puede estar asociado por la complejidad genética del fenómeno así como por las complicadas interacciones con el ambiente, que intervienen para definir el grado de acidez titulable.

Los valores más altos de porcentaje de ácido cítrico se obtuvieron en el estado de madurez 4; la reducción en estados subsecuentes es de esperarse, ya que el contenido de ácidos disminuye con la madurez, debido a que los ácidos orgánicos son metabolizados y respirados o convertidos en azúcares; por lo que los ácidos pueden ser considerados como una reserva energética más de la fruta, cuyo descenso coincide con el período de actividad metabólica máxima (Wills *et al.*, 2008).

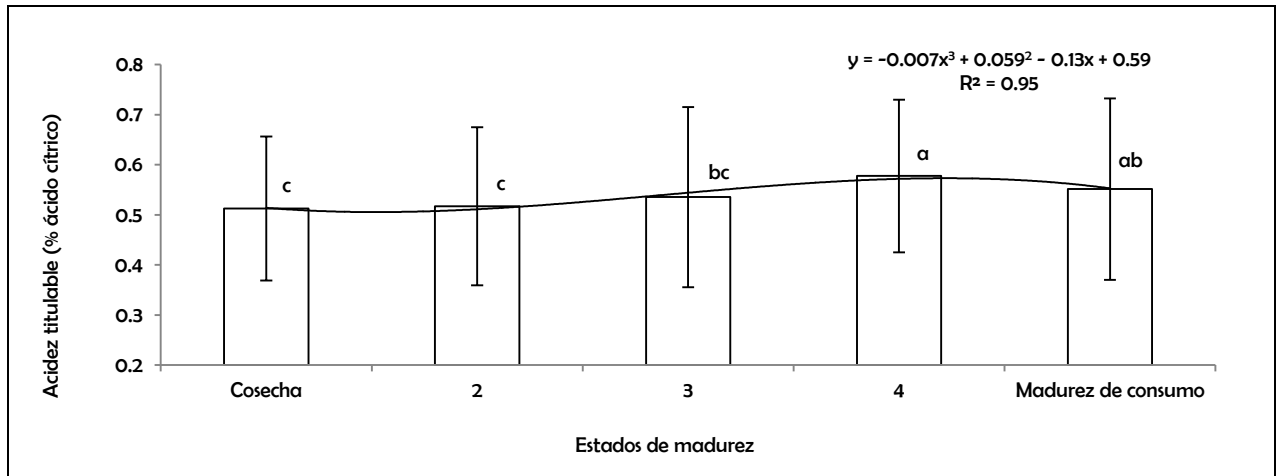


Figura 27. Acidez titulable de frutos de jitomate en diferentes estados de madurez. Las barras corresponden al promedio corresponden al promedio de nueve acervos; las líneas verticales a la desviación estándar; la línea curva a la función de regresión. Montecillo, Estado de México, 2008.

El factor acervo también presentó diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para la variable acidez titulable (Figura 28). Es posible agrupar a los acervos en dos grupos, uno en donde se podría localizar al acervo Montecillo y cinco acervos nativos; y por otro lado, un grupo con el acervo del híbrido y líneas derivadas y los acervos del Sureste del país. La acidez del jitomate depende en gran medida de la variedad (Saliba-Colombani, *et al.*, 2001).

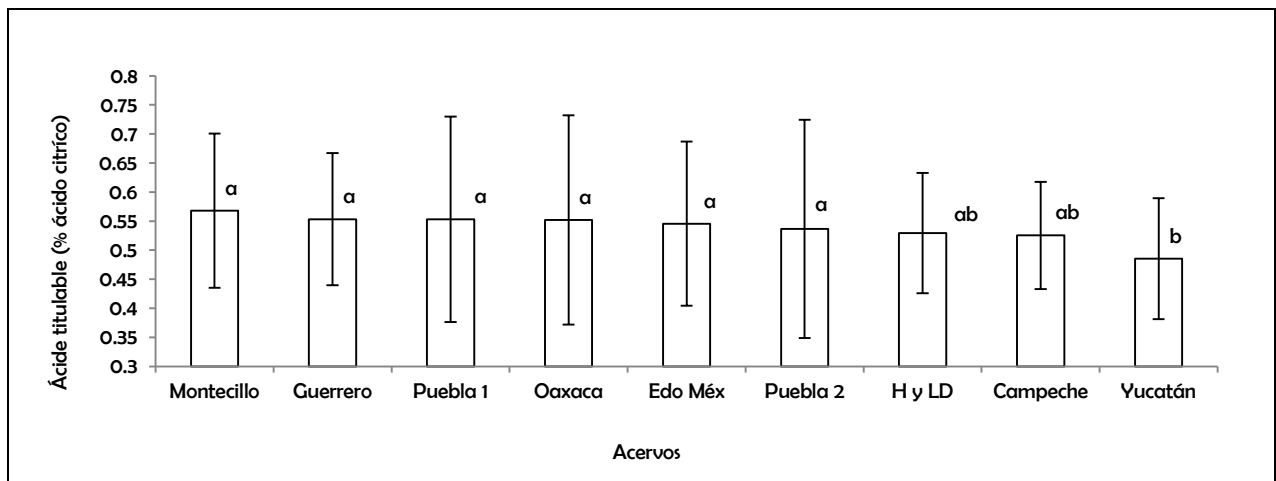


Figura 28. Ácidez titulable de frutos de jitomate de nueve acervos. Las barras corresponden al promedio de cinco estados de madurez; las líneas verticales a la desviación estándar. Montecillo, Estado de México, 2008.

La interacción de los factores estados de madurez x acervo fue significativa para acidez titulable (Figura 29). Los acervos tuvieron una evolución diferente en la acumulación del ácido cítrico, que se relaciona al origen de los acervos. El acervo Montecillo mostró un comportamiento irregular, en el estado de madurez 3 presentó el valor máximo de 0.88 % de ácido cítrico, mientras que el valor más bajo lo presentó en el estado de madurez 2.

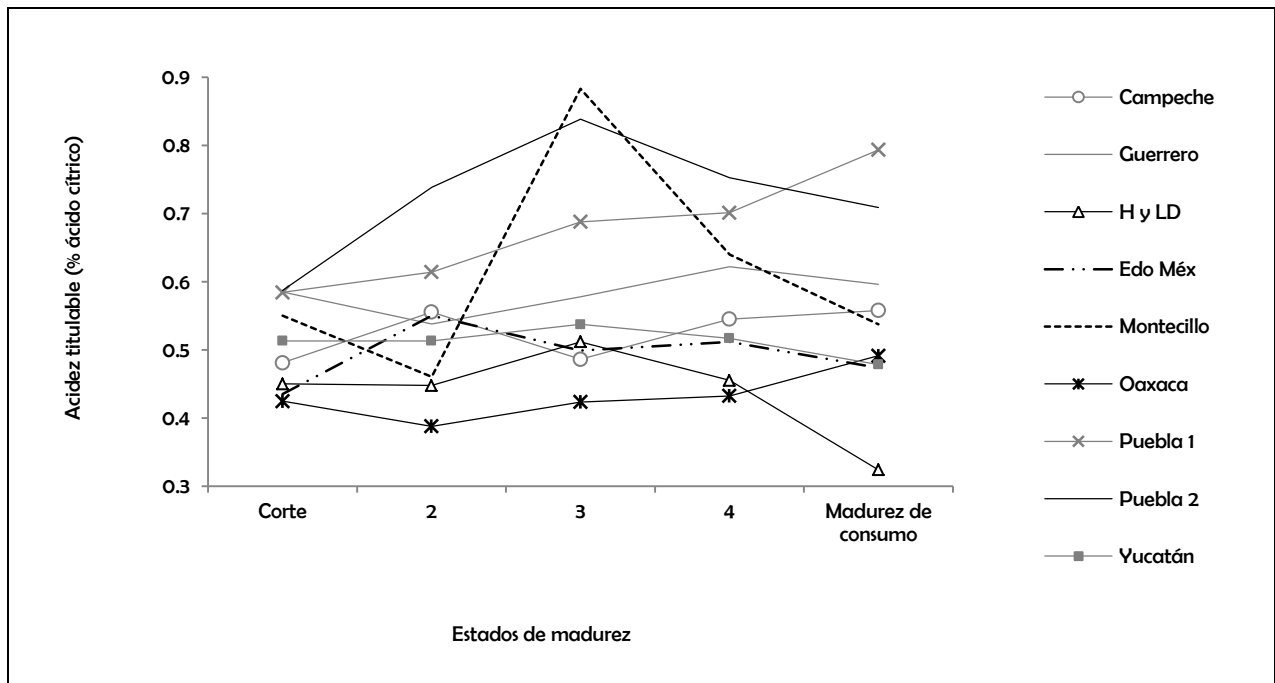


Figura 29. Interacción acervos x estados de madurez de frutos de jitomate para la variable pH. Montecillo, Estado de México, 2008.

De acuerdo a Mencarelli y Salveit (1988), los jitomates deben tener entre 0.2%-0.6% de ácido cítrico en estado maduro para que tengan un sabor agradable. Los acervos Puebla 2 y Puebla 1 superan estos valores, (0.79 y 0.70 % ácido cítrico, respectivamente); en contraparte, los frutos con menor porcentaje de ácido cítrico fueron los del acervo de materiales mejorados (0.32 % ácido cítrico).

Raffo *et al.*, (2002) encontraron que en jitomates cherry, la cantidad de ácido cítrico disminuye con la maduración (0.79-0.67), mientras que los ácidos málico y oxálico no cambiaron significativamente durante la maduración; el contenido de acidez está considerablemente

afectado por el cultivar, los jitomates de tipo cherry son más ácidos que los de tamaño grande (Picha, 1986).

Relación Sólidos Solubles Totales/ acidez total

Los SST y la cantidad de ácidos orgánicos (Málico y cítrico), determinan el sabor del jitomate (Martínez-Barajas, 2003). La relación SST/acidez o el índice de madurez se utiliza como parámetro de referencia de la maduración (Vilas *et al.*, 1999). El índice de madurez, fue significativamente diferente entre los estados de madurez (Figura 30); los valores más altos fueron al inicio de la madurez, el valor más bajo se tuvo en el estado de madurez 4, los resultados difieren de los de Rodríguez *et al.*, (2007), que encontró que el índice de madurez aumentó conforme avanzó la madurez.

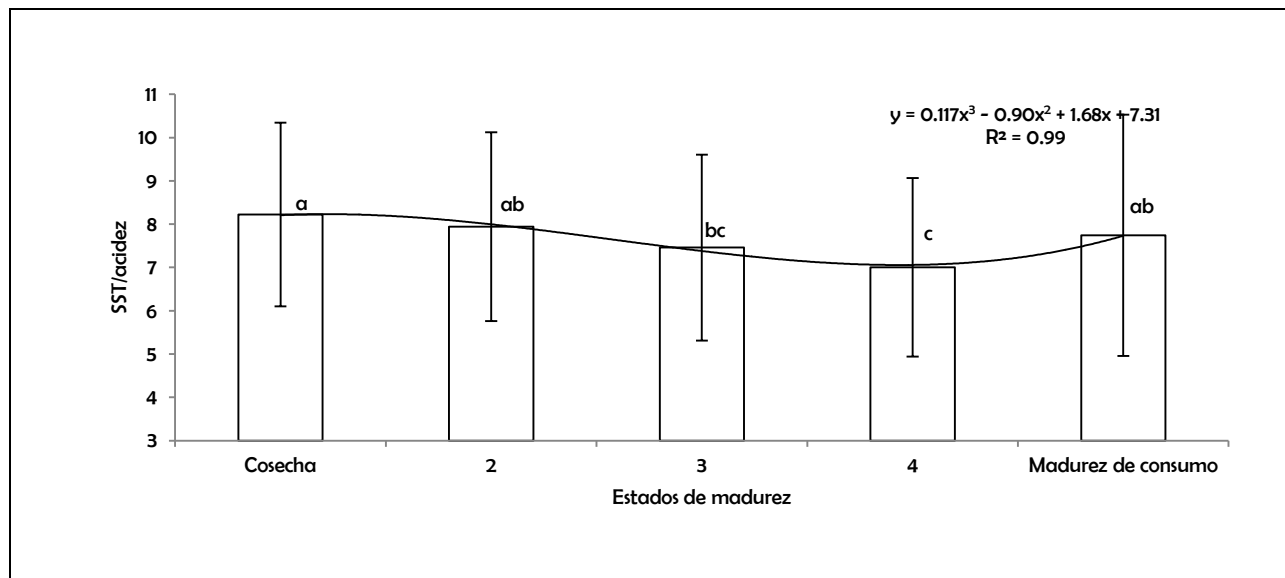


Figura 30. SST/acidez de frutos de jitomate en diferentes estados de madurez. Las barras corresponden al promedio de nueve acervos; las líneas verticales a la desviación estándar; la línea curva a la función de regresión. Montecillo, Estado de México, 2008

Existieron diferencias estadísticas entre los acervos (Figura 31), y de acuerdo los valores del índice de madurez es posible hacer dos grupos de acervos; el valor más alto corresponde a Yucatán (8.78), el resto de las poblaciones son similares estadísticamente; la mayor variabilidad existió dentro de acervos. Ruíz *et al.*, (2006), encontraron que la aceptabilidad de los

consumidores aumenta conforme incrementa la concentración de azúcares, pero también debe tener un nivel óptimo de acidez; los valores bajos del cociente entre sólidos solubles totales y acidez, están asociados a un sabor insípido (Mencarelli y Salveit 1988).

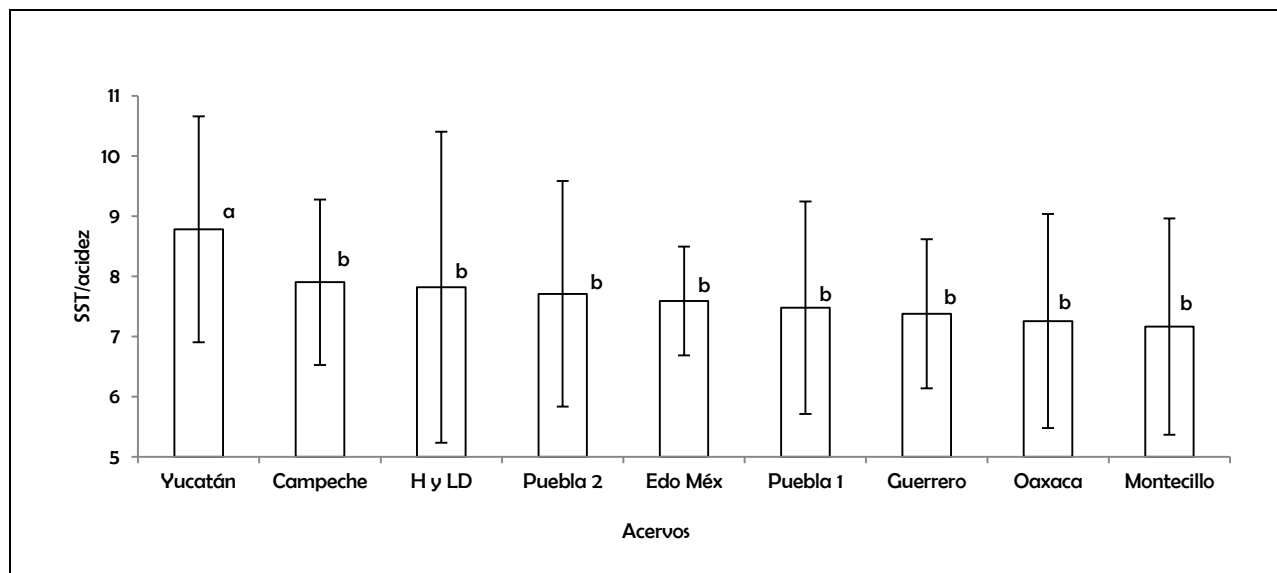


Figura 31. Relación SST/acidez de frutos de jitomate de nueve acervos. Las barras corresponden al promedio de cinco estados de madurez; las líneas verticales a la desviación estándar. Montecillo, 2008.

Las interacciones entre los factores estado de madurez x acervo para la relación SST/acidez fue significativa ($p \leq 0.05$). La evolución de esta variable a través de la madurez difiere de acuerdo al origen de los acervos. Al llegar a la madurez de consumo, el valor más alto correspondió al acervo del híbrido y líneas derivadas (12.83), resultado que puede atribuirse al bajo contenido de ácido cítrico en este acervo; el acervo Yucatán es el acervo que tiene el segundo valor más alto; los valores más bajos correspondieron a el acervo Puebla 1 (5.52) (Figura 32).

Se ha considerado que para que un jitomate pueda ser considerado de excelente calidad debe presentar valores en este índice superiores a 10 (Vilas, *et al.*, 1999); sin embargo Pagliarini *et al.*, (2001), demostraron que hay grupos de consumidores que tienen preferencia por distintos cultivares que difieren en sus características, algunos optan por cultivares dulces y otros los prefieren ácidos.

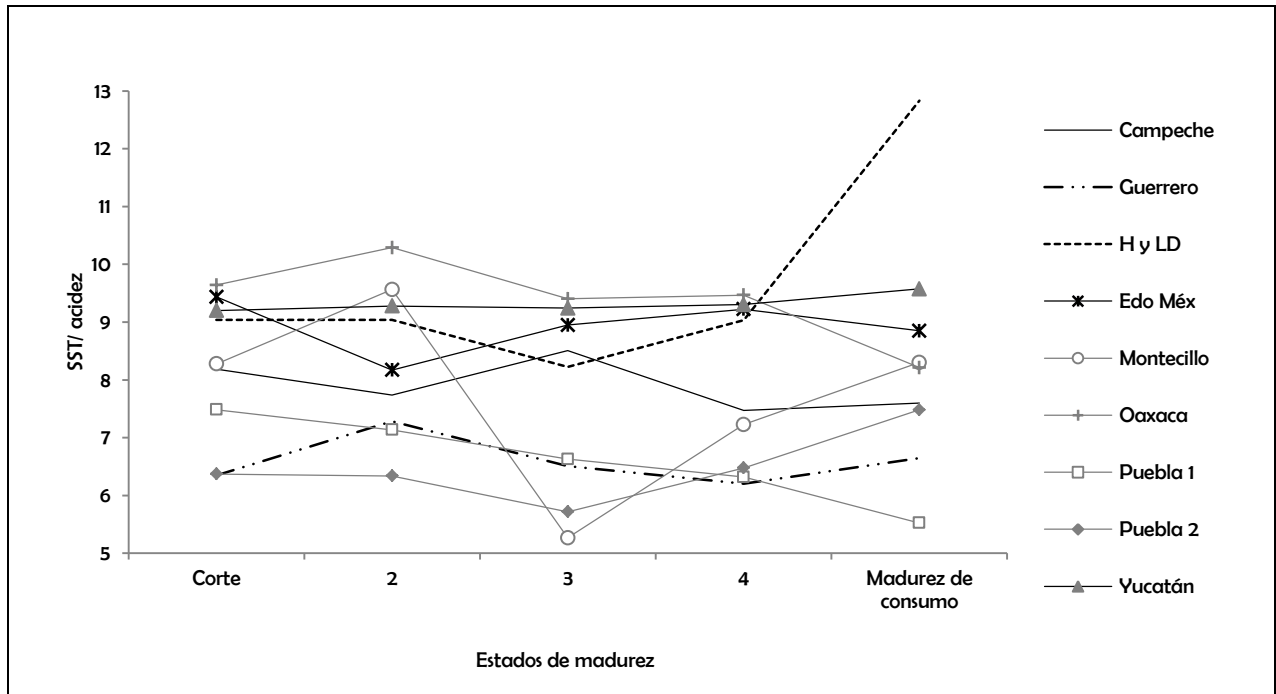


Figura 32. Interacción acervos x estados de madurez para SST/ acidez de frutos de jitomate. Montecillo, Estado de México, 2008.

Respiración

La respiración de los frutos está estrechamente relacionada con su vida de anaquel, ya que a través de este proceso se produce energía por medio de la oxidación de las reservas de los frutos como almidón, azúcares y otros metabolitos. Una vez cosechado el fruto no puede reemplazar estas reservas que se pierden y la velocidad con la que disminuyen es un factor de gran importancia en la duración de la vida postcosecha.

En el factor estados de madurez las diferencias fueron estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$), las tasas de respiración decrecieron conforme avanzó la madurez, las diferencias fueron más amplias en el primer estado de madurez. La velocidad siguió un comportamiento lineal ($y = -8.27x + 63.545$; $R^2 = 0.9326$) que disminuyó $8.27 \text{ mL CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ H}^{-1}$, en cada estadio (Figura 33).

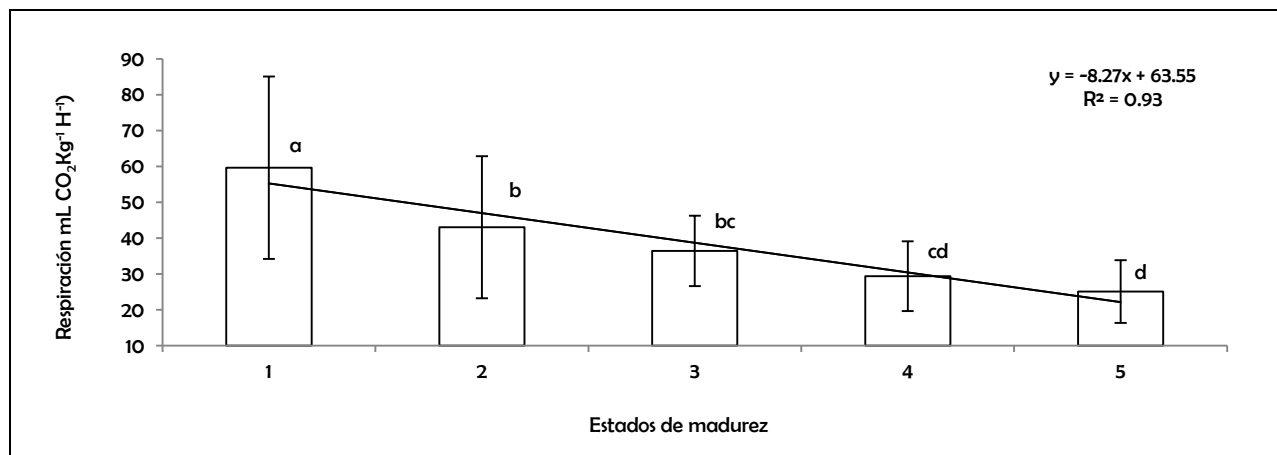


Figura 33. Respiración frutos de jitomate en diferentes estados de madurez. Las barras corresponden al promedio de nueve acervos; las líneas verticales a la desviación estándar; la línea recta a la función de regresión. Montecillo, Estado de México, 2008.

Los acervos fueron significativamente diferentes (Figura 34). El acervo con la menor respiración fue el del híbrido y las líneas derivadas, lo que les permitió mayor vida de anaquel; también se encontró variación dentro de acervos. La velocidad de respiración además de relacionarse con la vida de anaquel; también son es un indicador de la pérdida de peso, la evolución del color y de la pérdida de firmeza (Calegario *et al.*, 2001).

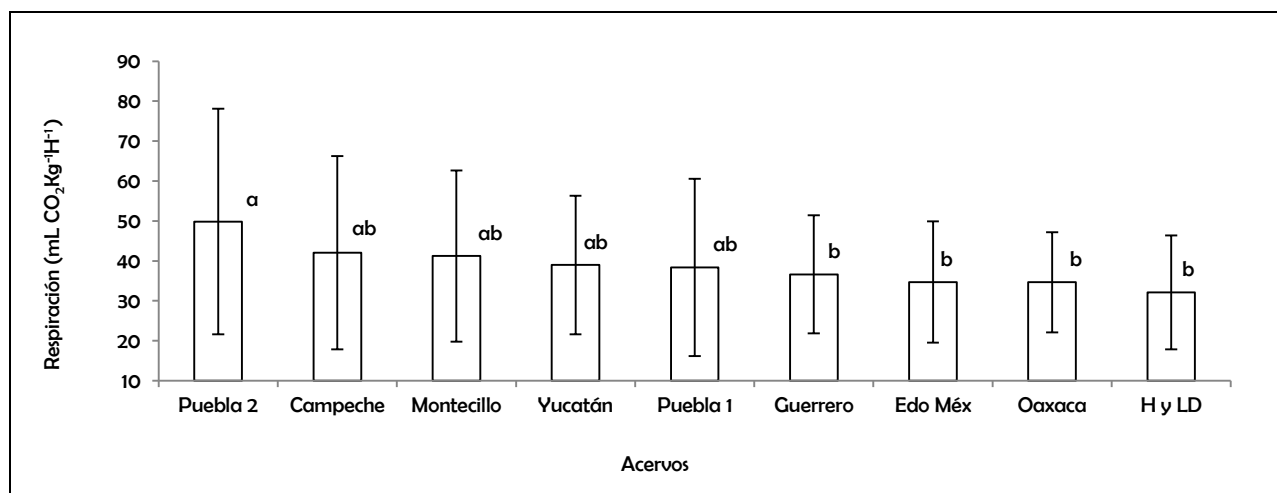


Figura 34. Respiración en frutos de jitomate de nueve. Las barras corresponden al promedio de cinco estados de madurez; las líneas verticales a la desviación estándar. Montecillo, Estado de México, 2008.

La interacción estados de madurez x acervo para la variable respiración no fue significativa; el comportamiento de la velocidad de respiración es similar en los diferentes acervos. Los acervos del Estado de México y Montecillo mostraron un comportamiento peculiar y similar entre ellos, la línea de regresión correspondió a una polinomial de tercer orden, difiriendo en el valor de la ordenada al momento del corte; los restantes 7 acervos tienen un comportamiento lineal con diferentes tasas de respiración, y fue el acervo Puebla 2 el que presentó la mayor velocidad de respiración (Figura 35).

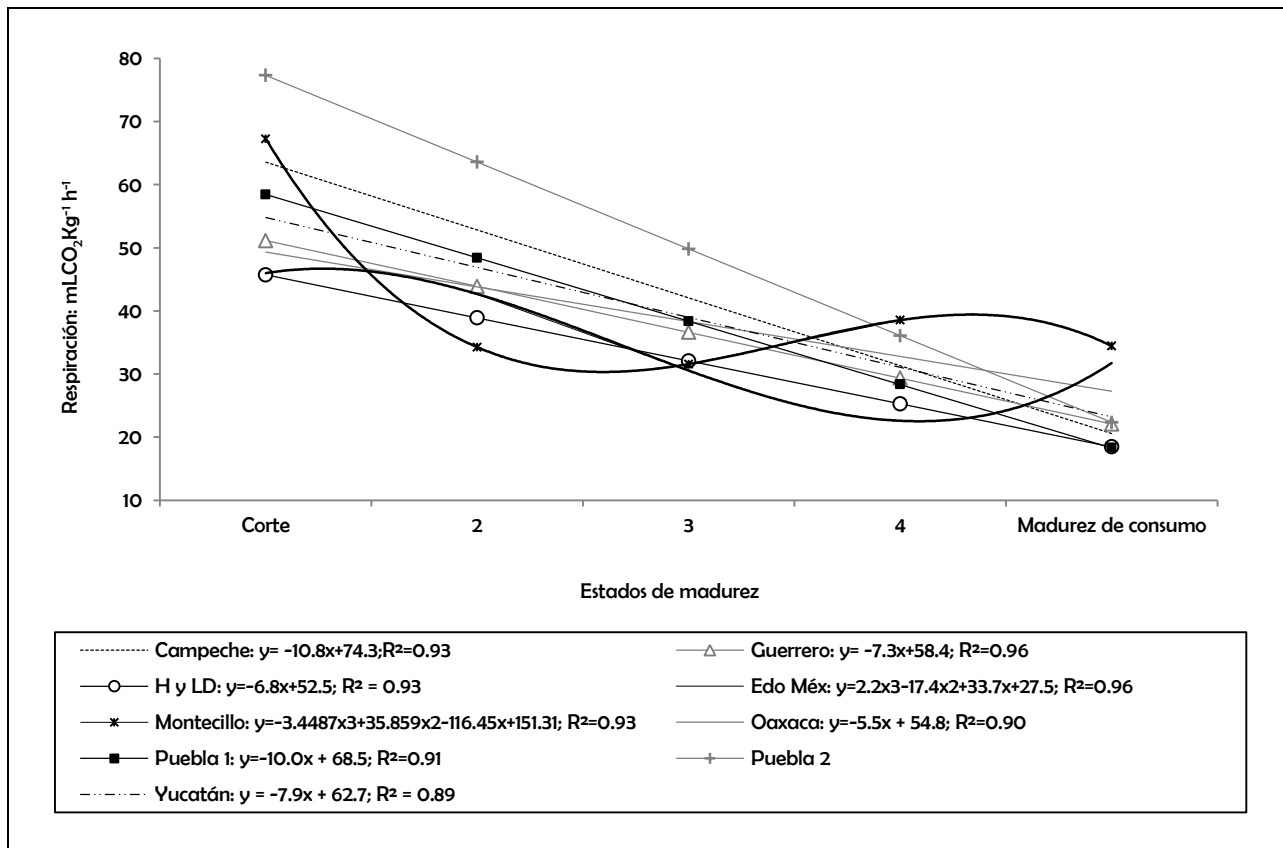


Figura 35. Interacción acervos x estados de madurez para respiración de frutos de jitomate. Montecillo, Estado de México, 2008.

3. Diversidad en calidad interna en madurez de consumo

El análisis de componentes principales (Cuadro 8) mostró que 0.91% de la variación se explica mediante tres componentes principales (CP), que integran cuatro variables. La concentración de Sólidos Solubles Totales es la variable que contribuye en menor proporción la variabilidad de los

datos; las variables acidez titulable y el cociente SST/Acidez tienen la mayor contribución al CP1, la variable pH explica la variabilidad en el CP2, la tasa de respiración representó la variabilidad del CP3. Las variables que más contribuyeron a la calidad interna fueron las relacionadas al sabor.

Cuadro 8. Vectores y valores propios de los componentes principales 1 y 2, con base en cinco características de calidad interna de frutos de jitomate de poblaciones nativas, líneas derivadas y un híbrido. Montecillo, Estado de México, 2008.

Característica	CP1	CP2	CP3
Sólidos Solubles Totales (%p/p)	0.463	0.333	0.467
pH	0.346	0.557	0.248
Acidez (% ácido cítrico)	0.563	-0.422	0.077
SST/Acidez	-0.525	0.441	0.242
Respiración (mLCO₂Kg⁻¹H⁻¹)	0.269	0.454	-0.810
Vectores propios	2.32	1.43	0.78
Varianza Explicada	0.46	0.29	0.16
Varianza acumulada	0.46	0.75	0.91

La representación gráfica de la dispersión de los acervos, con base en los dos primeros componentes de calidad interna, muestra una clara separación de los acervos de acuerdo al origen de las poblaciones nativas (Figura 36). El grupo de híbridos y derivados se ubicó en el tercer cuadrante y tiene similitudes en el bajo valor de pH con el acervo Puebla 2 y Estado de México. Es posible formar un grupo con los acervos Yucatán, Guerrero y Campeche que tienen similitudes en la acidez y el índice de madurez, este grupo es el más estrecho, el acervo de materiales mejorados presentó similitudes en las variables acidez y el índice de madurez, con el acervo Yucatán y Guerrero en la acidez y el índice de madurez. El acervo Puebla 1 presentó los valores más altos de acidez (% ácido cítrico), y de la relación SST/acidez. El acervo Estado de México tuvo los valores más bajos de pH, en contraparte los frutos de Montecillo, presentaron los valores más altos.

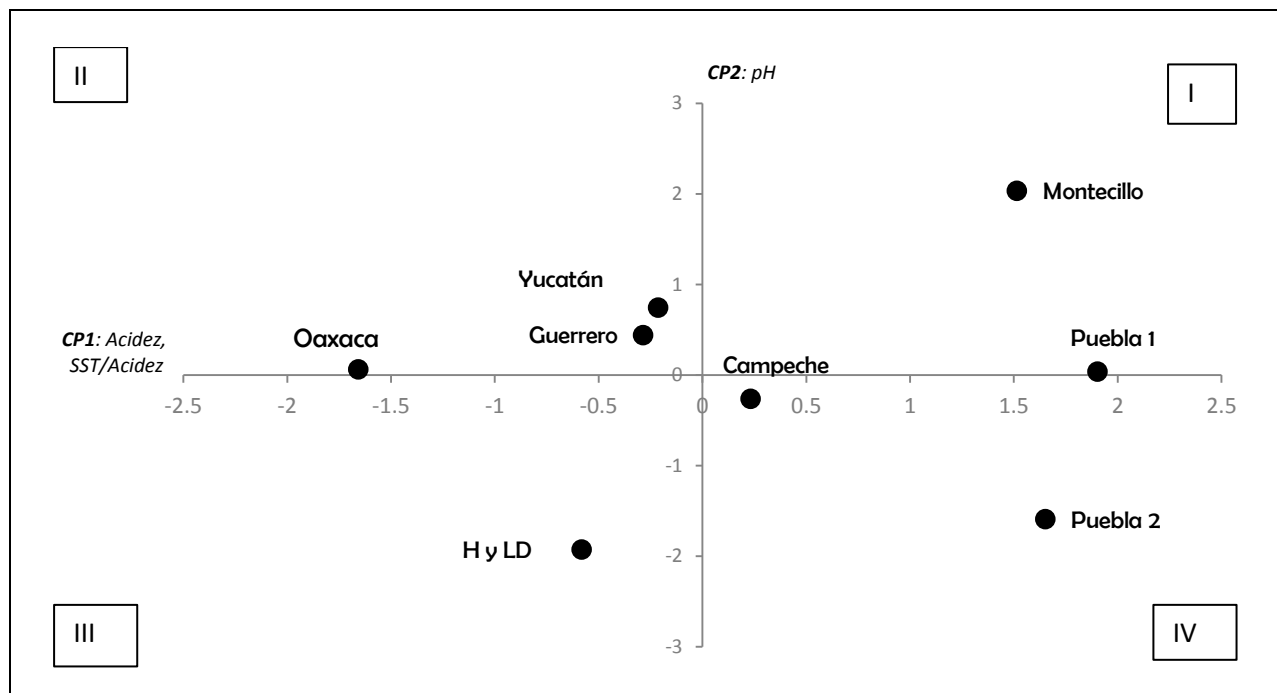


Figura 36. Dispersión de calidad interna de frutos de jitomate de nueve acervos en base en los componentes principales 1 y 2. Montecillo, Estado de México, 2008.

De acuerdo al análisis de conglomerados (Figura 37), fue posible la identificación de un grupo bien definido (Grupo B), en el que se encuentran las poblaciones del acervo de mejorados (Híbrido y Líneas derivadas), además de la población Ye originaria del Sureste de país. Los valores de las características de calidad interna que definen a este grupo son las siguientes: 3.7-4.4% SST, pH de 5.0-5.4, porcentaje de ácido cítrico 0.29-0.36, cociente SST/acidez 11.83-13.93, y una tasa de respiración de 16.54-21.62 $\text{mLCO}_2\text{Kg}^{-1}\text{H}^{-1}$.

En el grupo A se concentran las restantes 30 poblaciones nativas y la línea derivada Montecillo. El grupo A puede a su vez subdividirse en 6 conjuntos en una distancia de ligamiento de 2.5. El subgrupo B-1 se aglomeraron 11 poblaciones con orígenes de Campeche, Guerrero, Oaxaca y la línea derivada Montecillo, estas poblaciones tuvieron un intervalo de variación entre 3.7-4.2% SST, pH 5.0-5.4, 0.46-0.59 porcentaje de ácido cítrico, índice de madurez de 6.42-8.85 y una tasa de respiración de 24.21-32.18 $\text{mLCO}_2\text{ Kg}^{-1}\text{H}^{-1}$.

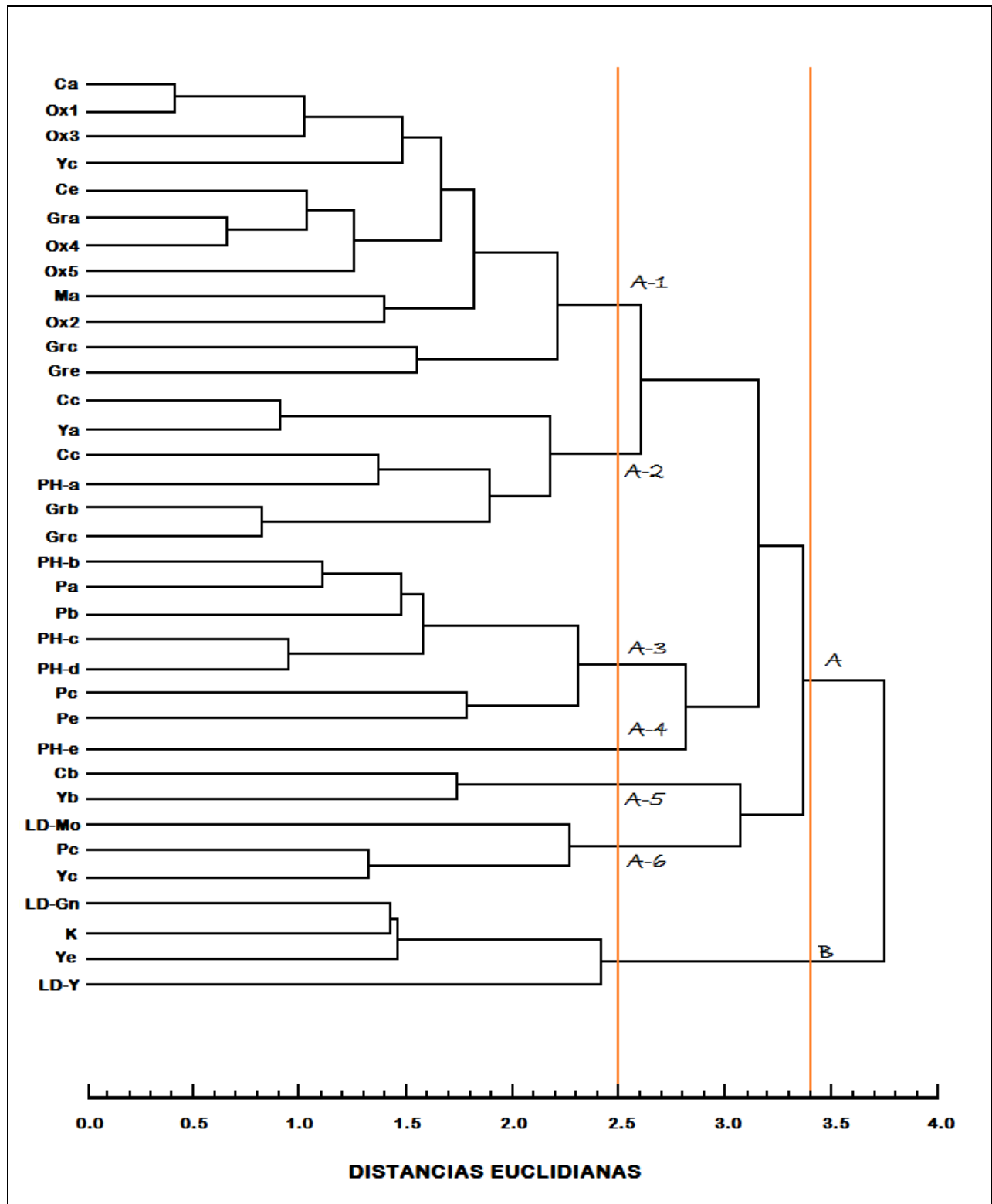


Figura 37. Agrupamiento de 31 poblaciones de jitomate nativas, 3 líneas derivadas y el híbrido comercial Caimán con base en cinco variables de calidad interna. Montecillo, Estado de México, 2008.

El subgrupo A-2 es un más variado en cuanto a sus orígenes, comprende 6 poblaciones nativas originarias de Campeche, Yucatán Guerrero y Puebla 1. Difiere del grupo anterior en la tasa de respiración, este segundo subgrupo presenta valores más bajos en comparación con el subgrupo B-1 (15.09-19.65 mLCO₂ Kg⁻¹H⁻¹).

El subgrupo A-3 es más homogéneo los orígenes de sus poblaciones, reúne poblaciones de Puebla, tanto de las dos regiones evaluadas (límites con Hidalgo y Sierra Norte); este subgrupo presentó las características de calidad interna siguientes: % SST 4.3-4.9, pH 5.1-5.4; porcentaje de ácido cítrico 0.64-.92, índice de madurez 4.94-7.8 y tasa de respiración 20.7-29.2 mLCO₂ Kg⁻¹H⁻¹.

La población PHe se encuentra aislada del resto de las poblaciones nativas, es una población originaria de Puebla 2 (Sierra negra). Sus características de calidad interna son % SST 4.3, pH 4.9, porcentaje de ácido cítrico 0.72, cociente SST/acidez 5.96, y tasa de respiración de 25.0 mLCO₂/ Kg⁻¹H⁻¹.

El subgrupo A-5 liga dos poblaciones del sureste, específicamente Campeche y Yucatán, la concentración de SST fue 4.2-4.5%, pH 5.5-5.6, porcentaje de ácido cítrico 0.46-0.54, el índice de madurez 7.8-9.7 y la tasa de respiración 18.0-21.8 mLCO₂ Kg⁻¹H⁻¹.

El último subgrupo (A-6), fue conformado por las poblaciones LD-Mo, Pc y Yc, las cuales tienen las siguientes características: % SST 4.4-4.8; pH 5.3-5.4; porcentaje de ácido cítrico 0.40-0.54; relación SST/acidez 8.3-12.5 y tasa de respiración 28.2-35.4 mLCO₂ Kg⁻¹H⁻¹.

Existe diversidad en las poblaciones nativas para las características de calidad interna; de las 31 poblaciones nativas evaluadas, existen al menos 13 de ellas contienen mayor contenido de Sólidos Solubles Totales; en general, las poblaciones nativas tiene un mayor porcentaje de ácido cítrico, pero el pH no tiene el mismo comportamiento; el valor mayor del índice de madurez lo presentaron los materiales Ye, LD- Gn, LD-Y y el híbrido Caimán, lo cual podría atribuirse a el contenido de ácido cítrico, es decir que las poblaciones nativas tienen un sabor más ácido; a

pesar de que el índice de madurez es alto en el grupo B, su sabor podría ser insípido (Vilas, *et al.*, 1999), pues los dos elementos que definen a este índice son valores bajos

CONCLUSIONES

Las características de calidad interna son parámetros muy variables en su evolución durante la madurez, así como los valores en madurez comestible; por lo cual puede ser poco predecible, por lo cual se vuelven complejos. Existe una amplia diversidad en los materiales mexicanos.

Las características de calidad interna son fuertemente influidas por el efecto ambiental o por el manejo por ejemplo la concentración de sólidos solubles; sin embargo, una parte de la variación es regulada por los genes involucrados.

Existen poblaciones nativas de jitomate mexicano que pueden ser utilizadas para mejorar la concentración de Sólidos Solubles Totales, pero aún falta evaluar su relación con las condiciones de cultivo.

El sabor de las poblaciones nativas es más ácido que el de los híbridos y líneas derivadas, pero puede ser que los consumidores lo prefieran, aún falta establecer las preferencias de acuerdo a un panel de evaluación sensorial.

Se hace necesaria la evaluación de las características de calidad interna y establecer correlaciones con parámetros fisicoquímicos que permitan hacer más eficiente su descripción.

LITERATURA CITADA

- A.O.A.C 1990 Association of Official Analytical Chemists. Official Methods of Analysis. Ed. Washington.
- Anthon, G. E., M. LeStrange y D. M. Barrett. 2011. Changes in pH, acids, sugars and other quality parameters during extended vine holding of ripe processing tomatoes. Journal of Food Science. 1175-1181.

- Anza, M. y Riga, P. 2007. Efecto de la variedad y de la época de cultivo en la calidad organoléptica y nutricional del tomate. XI Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas. Albacete, España. 909-913 pp.
- Artés, F., F. Artés-Hernández,. 2004. Tratamientos postrecolección del tomate fresco. Tendencias e innovaciones. En: Tomates. Producción y comercio. Ediciones de Horticultura S.L. Reus (España). Capítulo 10: 109-120.
- Batu, A. 2004. Determination of acceptable firmness and colour values of tomatoes. Journal of Food Engineering. 61: 471-475.
- Baxter, C. J., F. Carrari, A. Bauke, S. Overy, S. A. Hill, W. P. Quick, A.R. Fernie y L. J. Sweetlove: 2005. Fruit carbohydrate metabolism in an introgression line of tomato with increased fruit soluble solids. Plant Cell Physiology. 46:425-437.
- Binoy, G., C. Kaur, D. S. Khudiya y H. C. Kapoor. 2004. Antioxidants in tomato (*Lycopersicon esculentum*) as a function of genotype. Food Chemistry 84: 45-51.
- Borrego, F., M. Mendoza y J. Santiago. Evaluación de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en invernadero: criterios fenológicos. Agronomía Mesoamericana. 9:59-65.
- Calegario, F. F.; R. G. Cosso, F. V. Almeida, A.E. Vercesi y W.F Jardim. 2001. Determination of the respiration rate of tomato fruit using flow analysis. Postharvest Biology and Technology. 22: 249-256.
- Causse, M., V Saliba-Colombani, L Lecomte, P Duffe P Rousselle y M Buret. 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.
- Dominique, R., B Pierre, J. Daniel, E. Chevalier, B. Marc y R. Philippe. 2000. NMR study of low subcellular pH during the development of cherry tomato fruit. Australian Journal of Plant Physiology. 27:61-69.
- Fridman, E, T. Pleban, D. Zamir. 2000. A recombination hotspot delimits a wild-species quantitative trait locus for tomato sugar content to 484 bp within an invertase gene. Proceedings of the National Academy of Sciences, USA 97, 4718-4723.
- Gómes, P. A. y F. L Camelo A. 2002. Calidad postcosecha de tomates almacenados en atmósferas controladas. Horticultura Brasileira. 20: 38-43.
- Gould, W. A. 1974. Tomato production, processing and quality evaluation. The AVI publishing USA.

- Grandillo, S., H. M. Ku, S. D. Tanksley . 1999. Identifying the loci responsible for natural variation in fruit size and shape in tomato. *Theoretical and Applied Genetics*. 99:978–987
- Hernández, S. M, E. M. Rodríguez, R. C. Díaz 2007. Chemical composition of tomato (*Lycopersicon esculentum*) from Tenerife, the Canary Islands. *Food Science and Nutrition*. 106:1046-1056.
- Kaur, D., A. Abas W., P. S. Oberoni D., D. S. Sogi Effect of extraction conditions on lycopene extractions from tomato processing waste skin using response surface methodology. *Food Chemistry*. 108: 711-718.
- Kays, S. J. 1991. *Postharvest Physiology of Perishable Plant Products*. Ed. AVI, U.S.A. pp75-95.
- Lecomte L., V. Saliba-Colombani, A. Gautier, M. C. Gómez-Jimenez y P. Duffé. 2004 (a). Fine mapping of QTLs of chromosome 2 affecting the fruit architecture and composition of tomato. *Molecular breeding*. 13: 1-14
- Lecomte, L. A. Gautier, A. Luciani y P. Duffé 2004(b). Recent Advances in Molecular Breeding: The Example of Tomato Breeding for Flavor Traits. *Acta horticulturae*. 637:231-242.
- Martínez-Barajas, E. 2003. Análisis de la acumulación de azúcares en pericarpios de dos genotipos silvestres de jitomate (*Lycopersicon esculentum*). Volumen 37. Numero 4. UNAM. Depto. de Bioquímica.
- Mencarelli, F. y M. E. Salveit. 1988. Ripening of mature-green tomato fruit slices. *Journal of American society horticultural science*. 113: 742-745.
- Nuez, F. 2001. *El cultivo de jitomate*. Mundi- Prensa. 793 pp.
- Odriozola-Serrano I, R. Soliva-Furtuny, y O. Martín Belloso. 2008. Effect of minimal processing on bioactive compounds and color attributes of fresh-cut tomatoes. *LWT-Food Science and Technology*. 41:217–226.
- Pagliarini, E., E. Monteleone y S. Ratti. 2001. Sensory profile of eight tomato cultivars (*Lycopersicon esculentum*) and its relationship to consumer preference. *Italian Journal of Food Science*. 13 (3), 285- 296.
- Parisi, B. D Onofrio, A. Pentangelo, G. Villari and I. Giordano. 2008. Morfology, Productivity and Qualitative Characterization of the Traditional Tomato Ecotype Pomodoro di Sorrento Originating from the Campania Region, Southern Italy

- Picha, D. H. 1986. Effect of harvest maturity on the final fruit composition of cherry and large-fruited tomato cultivars. *Journal of the American Society of Horticultural Science*. 111:723-727.
- Raffo, A., C. Leonardi, V. Flogiano, P. Ambrosino, M. Salucci, L. Gennaro, R. Bugianesi, F. Giuffrida, G. Quaglia. 2002. Nutritional value of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* cv. Naomi F1) harvested at different ripening stages. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 50: 6550-6556.
- Rodríguez-Rodríguez, R., Tabares-Rodríguez, J., Medina San Juan. 1989. El cultivo moderno del tomate. Mundi-Prensa.
- Ruiz, J. J., A. Arancha, S. García-Martínez, M. Valero, P. Blasco y F. Ruiz-Bevia. 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.
- Saliba-Colombani V, M Causse, D Langlois, J Philouze, M Buret. 2001. Genetic analysis of organoleptic quality in fresh market tomato: mapping QTLs for physical and chemical traits. *Theoretical and Applied Genetics* 102, 259–272.
- Sies, H. y Stahl W. 1998. Licopene: antioxidant and biological effects and its bioavailability in the human. *Proceedings of the Society for experimental biology and medicine*. 2(2):129-139 pp.
- Stevens, M. A. 1986. Inheritance of tomato fruit quality components. *Plant Breeding Reviews*. 4: 273-311 pp
- Stommel J. R. 1992. Enzymic components of sucrose accumulation in the wild tomato species *Lycopersicum peruvianum*. *Plant Physiology* 99, 324–328.
- Willis R B H, W B Mc Glasson, D Graham y P C Joyce. 2008. Postharvest. UNSW press 5ta Edición. USA.
- Young, T.E., J.A. Juvik y J.G. Sullivan. 1993. Accumulation of the components of total solids in ripening fruits of tomato. *Journal of the American Society of Horticultural Science*. 118:286-292.
- Zorzoli R. G R Pratta y L A Picardi. 2000. Variabilidad genética para la vida postcosecha y el peso de los frutos en tomate para familias F3 de un híbrido interespecífico. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 35:2423-2427.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN GENERAL

Las variedades autóctonas de jitomate mexicano presentan una amplia diversificación en las características que definen la calidad de sus frutos, debido a que estas poblaciones han evolucionado en una complejidad de factores bióticos, abióticos e inclusive sociales; la mezcla de estos factores ha permitido la divergencia de las variedades, su heterogeneidad y su riqueza genética (Camacho *et al.*, 2006).

Debido a la reducida base genética (Miller y Tanksley, 1990), se ha obstaculizado el éxito en la obtención de nuevas variedades de jitomate con los rasgos de calidad que demandan los consumidores de esta hortaliza. En la actualidad los atributos de los frutos de las variedades comerciales no corresponden a los requeridos por los compradores o no pueden cubrir completamente sus necesidades (Causse *et al.*, 2003); por lo cual es necesario generar información sobre cualquier fuente de variación que sea útil para el mejoramiento.

Es posible encontrar poblaciones nativas cultivadas en diferentes regiones agrícolas de México, así como poblaciones silvestres, con amplia variabilidad fenotípica, sabores y usos especializados, así como con alta capacidad adaptativa. Existe una amplia variación en morfología, respuestas fisiológicas y fenológicas de planta; tamaños y formas de fruto; distribución de la producción; vida y calidad de anaquel; y. por lo tanto, un amplio potencial para la mejora del color, sabor y textura de las actuales variedades comerciales (Ramírez, 2010).

Las poblaciones autóctonas mexicanas presentan diferencias morfológicas de acuerdo a su origen, lo que puede obedecer a los diferentes grados de adaptación, inclusive en estado de plántula (Moreno y Ramírez, 2007; Salgado *et al.* 2008). Las poblaciones nativas tienen características de sabor que les permiten tener mayor aceptabilidad en los consumidores, comparado con los híbridos (Colchado, 2009 y Muñoz, 2010), con base en un panel de evaluación sensorial. La diversidad incluso se puede observar dentro de regiones, Carrillo y Chávez (2010) encontraron diferencias significativas en características fenológicas y morfológicas de planta, tallo, hoja flores y frutos en poblaciones de Oaxaca. Las variedades

nativas o locales de México representan un excelente recurso, por lo que se hace necesario su estudio.

Los programas de mejoramiento han tenido como objetivos principales el incremento del rendimiento y la mayor resistencia a plagas y enfermedades, lo que ha ocasionado que los frutos de variedades modernas hayan perdido algunas características de calidad en detrimento de atributos determinantes del sabor.

La calidad en poblaciones nativas evaluadas fue diversa y estuvo relacionada con el origen geográfico de las mismas; tal vez por su dinamismo, atribuido a que los agricultores han intercambiado germoplasma y busquen fuentes de variación para rasgos útiles o requeridos en su uso. La variación climática y biológica, los cambios socioeconómicos y los cambios culturales (Lobo y Medina 2009; Mercer y Perales, 2010) son factores que han hecho posible la mayor diversidad en las poblaciones autóctonas.

Una de las características más importantes de la calidad es el color, debido a que es un atributo que percibe primeramente el consumidor. Los acervos nativos presentaron mayor contenido de color rojo, basado en el ángulo de tono e índice de color. Al parecer algunas variedades sobre todo silvestres contienen genes que pueden ayudar a mejorar la producción de licopeno en etapas tempranas de la ruta biosintética de este caroteno; estrategia que ha demostrado su utilidad, ya que se ha encontrado que cruza con variedades cultivadas producen frutos, inclusive con mayor contenido de este pigmento que el de las variedades nativas (Tanksley McCouch, 1997).

La firmeza en fruto es otro atributo que determina en gran medida la preferencia de los consumidores. En este caso, el acervo de materiales mejorados fue más firme en el momento de cosecha y en la madurez comestible; lo que se puede asociar a que el mejoramiento genético ha desarrollado variedades con valores superiores en este rasgo, con el fin de facilitar la cosecha y transportar los frutos a grandes distancias y en grandes volúmenes, lo que provoca pérdidas económicas por los daños en frutos que no tienen la firmeza suficiente. Los frutos de las líneas derivadas fueron los más firmes, incluso con valores superiores a los calificados como muy firmes por el consumidor de acuerdo a Batu, (2004), por lo que los frutos de estas líneas pueden

ser considerados excesivamente firmes. Aunque estos niveles de firmeza pueden no ser necesariamente útiles comercialmente, ya que los consumidores de esta hortaliza han manifestado su preferencia por frutos con firmeza intermedia, por lo cual los frutos de las líneas derivadas no cumplirían sus expectativas. En cambio, las poblaciones nativas tuvieron frutos con valores inferiores en firmeza comparados a los frutos de las líneas derivadas en la etapa de madurez de consumo; sin embargo, superaron al híbrido en el sentido de que los frutos de las poblaciones nativas presentan firmeza con valores intermedios, por lo que tendrían amplias posibilidades de ser elegidos por los compradores.

La vida postcosecha es otro atributo fundamental en la comercialización de los frutos de jitomate, ya que los cambios en la firmeza permiten diversos daños que provocan pérdidas económicas cuantiosas (Bourgault y Bewley, 2002). Para prolongar la vida de anaquel de los frutos, la cosecha se realiza en un estado excesivamente verde, por lo cual los frutos emplean sus reservas para realizar sus procesos metabólicos lo que ocasiona la disminución de sabor (Baldwin *et al.*, 1991; Rodríguez *et al.*, 2006). En algunos países se ha asociado en variedades con larga vida de anaquel el poco sabor, lo que reduce su valor comercial al reducir su preferencia.

Las variedades nativas presentaron mayor cantidad de sólidos solubles totales y mayor contenido de acidez, condición que es de importancia comercial ya que los valores altos de estos dos parámetros aumentan la intensidad de sabor. Las poblaciones nativas han seguido evolucionado bajo diferentes criterios a los usados en la generación de variedades comerciales. En las poblaciones nativas el color y el sabor pudieron ser de importancia para satisfacer los gustos y preferencias regionales o locales, independientemente del tamaño, uniformidad u otros criterios que facilitan la comercialización de los frutos. Debido a que la selección de estas poblaciones autóctonas se ha basado en características diferentes, las poblaciones nativas difieren de los híbridos en intensidad de sabor, y podría decirse que tienen un sabor más intenso. Los híbridos presentaron valores más bajos en sólidos solubles totales y el porcentaje de ácido cítrico lo que da lugar a un sabor insípido. Aunque, hace falta un análisis sensorial para el mercado nacional para establecer preferencias o perfiles que permitan correlacionar el sabor con parámetros

fisicoquímicos que son más fácilmente medibles y que estarían de acuerdo a los requerimientos del mercado nacional.

Una parte de la variación metabólica está regulada por los genes involucrados directamente, pero también su expresión es modulada por las condiciones ambientales y las condiciones de manejo. En este estudio las condiciones de manejo y ambientales fueron similares, por lo que las diferencias en las características evaluadas de los frutos pueden ser atribuidas a diferencias genéticas, y a la respuesta diferencial de los genotipos al cultivo en hidroponía, ya que normalmente estas poblaciones son cultivadas en condiciones de campo abierto.

Existe una amplia diversidad en la calidad de los frutos de poblaciones nativas que está determinada por el origen de los materiales, lo que se puede atribuir a la presión de selección a la cual han sido sometidos en su co-evolución con el hombre, de acuerdo a necesidades culturales particulares. Las diferencias también se pueden apreciar dentro de acervos; la variación en la calidad más allá de las condiciones ambientales refleja el mosaico de condiciones sociales y culturales que han dado como resultados los diferentes atributos fenotípicos encontrados en las poblaciones autóctonas de jitomate.

La variación se apreció tanto a nivel de calidad interna como externa. Algunos frutos de poblaciones nativas se asemejan a los híbridos, por lo cual podrían ser utilizables como germoplasma tanto para conservar las poblaciones como para reducir la dependencia de semilla mejorada, que tiene un costo alto y no está adaptada a las condiciones naturales del país y las condiciones de la agricultura nacional. La amplia diversidad de los materiales nativos, la rusticidad y la adaptación a las condiciones generalmente limitantes de las zonas de origen les confieren un valor adicional, pues son más prometedoras y tiene mayor probabilidad de éxito para su cultivo.

La amplia variabilidad observada convierte a estas poblaciones en elementos importantes, en la generación de variedades con mayor calidad y rusticidad, que demanda el mercado actual. Adicionalmente, esta variación será un elemento valioso para enfrentar los desafíos del cambio climático en la agricultura. Al igual que otras especies nativas estas poblaciones enfrentan el

riesgo de erosión y pérdida por sustitución de variedades y sistemas de producción. Es necesario rescatar el valor de estas variedades locales que es reconocido por agricultores y consumidores.

Las hipótesis planteadas el inicio de la investigación son aceptadas, existen diferencias en las características que definen la calidad externa e interna de los frutos de las poblaciones nativas con respecto a los frutos del híbrido Caimán y dos líneas derivadas tipo saladette. El origen de las poblaciones nativas es determinante en la calidad del fruto de jitomate.

Por lo tanto, existe la necesidad de identificar grupos de variedades que pueden ser de interés para el mantenimiento de la diversidad genética o para programas de mejoramiento nacionales que busquen satisfacer las necesidades de nuestra agricultura considerando sus limitaciones. También, se requiere investigación sobre las necesidades de los consumidores en el país, ya que es necesario hacer evaluaciones sensoriales con el fin de establecer parámetros de calidad para los mercados nacionales dado que esta información no existe. La información sobre las poblaciones de jitomate nativas de México es escasa, a pesar de ser el país el centro de diversidad. La colección y aprovechamiento de la diversidad nativa, representan aspectos importantes para el mejoramiento de la producción de este cultivo en México. Falta mucho por hacer.

LITERATURA CITADA

- Batu, A. 2004. Determination of acceptable firmness and colour values of tomatoes. *Journal of Food Engineering* 61: 471-475.
- Bourgault R. and Bewley J. D. 2002. Variation in Its C-Terminal Amino Acids Determines Whether Endo- β -Mannanase Is Active or Inactive in Ripening Tomato Fruits of Different Cultivars. *Plant Physiology*. 130:1254-1262.
- Camacho, V. T., N. Maxted, M. Sholten and B. Ford-Lloyd. 2006. Defining and identifying crop landraces. *Plant Genetic Resources*. 3:373-384.

- Carrillo R J C y J L Chávez S. 2010. Caracterización agromorfológica de muestras de tomate de Oaxaca. *Fitotecnia Mexicana*. 33:1-6.
- 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 of food science*. 68: 2342-2350.
- Colchado M S. 2009. Patrones de maduración postcosecha en poblaciones nativas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. 77 p
- Lobo, A M y C I Medina C. 2009. Conservación de recursos genéticos de la agrobiodiversidad como apoyo al desarrollo de sistemas de producción sostenibles. *Corpoica-Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 1: 33-42.
- Mercer, K.L. and H.R. Perales. 2010. Evolutionary response of landraces to climate change in centers of crop diversity. *Evolutionary Applications*. 3: 480-493.
- Miller, J. C. and S.D. Tanksley. 1990. RFLP analysis of phylogenetic relationships and genetic variation in the genus *Lycopersicon*. *Theoretical and Applied Genetics* 80:437-448.
- Moreno Ramírez Y y P Ramírez Vallejo. 2007. Morfología de plántulas de jitomate nativo (*L. esculentum*) de seis regiones de México. In Memoria de Resúmenes, Simposio de Recursos Genéticos para América Latina y el Caribe. Distrito Federal. México. 6 a 9 de mayo de 2007. Universidad Autónoma Chapingo y Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. pp.269.
- Muñoz M A. 2010. Calidad nutricional y agroindustrial evaluada en cinco poblaciones nativas de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. 72 p.
- Ramírez V P. (2010). Conservación y aprovechamiento de la diversidad de poblaciones nativas de jitomate. MEMORIA 6° Congreso Nacional de Horticultura, Producción de Tomate en el Norte de México. (ed) Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo. Coahuila. p 116-124.
- Rodríguez, R. G., G. R. Pratta, R. Zorzoli y A. L. Picardi. 2006. Evaluation of plant and fruit traits in recombinant inbred lines of tomato obtained from a cross between *Lycopersicon esculentum* and *L. pimpinellifolium*. *Ciencia e Investigación Agraria*. 33:111-118.

Salgado Meraz L, P Ramírez Vallejo, J Canul Ku y M N Rodríguez García. 2008. Diversidad genética de plántulas de poblaciones nativas de jitomate. In: Memoria Congreso XXII Congreso Nacional y Segundo Internacional de Fitogenética. Chapingo, Estado de México. México. 21 a 26 de septiembre de 2008. SOMEFI. pp.272.

Tanksley S.D. y S. R. McCouch. 1997. Seed banks and molecular maps: unlocking genetic potential from the wild. *Science*. 277: 1063-1066.