



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

“Enseñar la explotación de la tierra, no la del hombre”

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
INSTITUTO DE HORTICULTURA

**CALIDAD NUTRIMENTAL Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN
TUNA (*Opuntia spp*), JITOMATE (*Solanum lycopersicum L.*) Y
PIMIENTO MORRÓN (*Capsicum annum L.*)**

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

INÉS ERADIA FIGUEROA CARES



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

CHAPINGO, ESTADO DE MÉXICO, ABRIL DE 2011

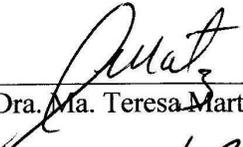


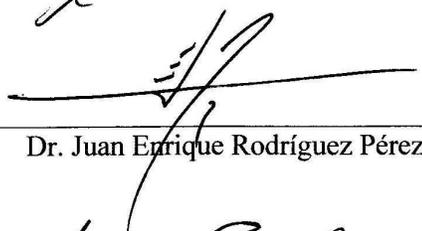
Instituto de Horticultura

CALIDAD NUTRIMENTAL Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN TUNA (*Opuntia* spp), Jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) Y PIMIENTO MORRÓN (*Capsicum annuum* L.)

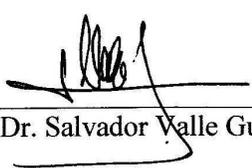
Tesis realizada por Inés Eradia Figueroa Cares bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

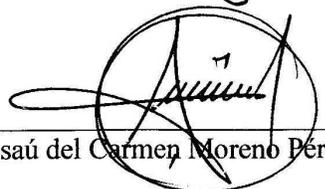
DIRECTOR 
Dra. Ma. Teresa Martínez Damián

ASESOR: 
Dr. Juan Enrique Rodríguez Pérez

ASESOR: 
Dra. María Teresa Colinas León

ASESOR: 
Dr. Salvador Valle Guadarrama

ASESOR: 
Dra. Sweetia Ramírez Ramírez

LECTOR EXTERNO: 
Dr. Esaú del Carmen Moreno Pérez

Chapingo, México, Abril de 2011

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo por haberme brindado nuevamente la oportunidad de seguir desarrollándome en el campo profesional y personal.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca que me otorgó para realizar mis estudios de Doctorado.

A la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción, Chile, por otorgarme las facilidades laborales para realizar mis estudios de Doctorado y el apoyo permanente durante el tiempo de permanencia fuera de mi país.

A la Dra. Ma. Teresa Martínez Damián, Dr. J. Enrique Rodríguez Pérez, Dra. María Teresa Colinas León, Dr. Salvador Valle Guadarrama y Dra. Sweetia Ramírez Ramírez Y Dr. Esaú Moreno Pérez, por su apoyo incondicional y sus valiosas aportaciones y sugerencias que ayudaron a mejorar significativamente el presente trabajo.

Sinceramente,

Inés Figueroa Cares

DEDICATORIA

El presente trabajo es la culminación de un camino lleno de esfuerzos, a través del cual no todo fueron alegrías; sin embargo, el haber llegado a la meta, me hace sentir que podemos lograr lo que nos proponemos y que el apoyo y cariño incondicional de nuestra familia es la mejor medicina.

A mi madre que me dio la fuerza para comenzar, pero no encontraré a mi regreso

Q. E. P. D.

DATOS BIOGRÁFICOS

La autora de la presente Tesis, nació en Chile, en la ciudad de Chillán, el 7 de Junio de 1968. Realizó sus estudios primarios y secundarios en el Instituto Santa María de la misma ciudad, para ingresar a la Universidad de Concepción, donde realizó sus estudios de Licenciatura en la carrera de Agronomía. En el año 1996 obtuvo el título de Ingeniero Agrónomo, y hasta el año 1999 se desempeñó como investigadora en diversos proyectos de la misma universidad. De 1999 a 2001 realizó sus estudios de Maestría en el Programa de Horticultura de la Universidad Autónoma Chapingo. Desde el año 2002 se desempeña como docente e investigador en la Facultad de Agronomía de la Universidad de Concepción, en Chile. En el 2008 ingresó al Doctorado en Ciencias en Horticultura, en el Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo.

CALIDAD NUTRIMENTAL Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN TUNA (*Opuntia* spp), JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) Y PIMIENTO MORRÓN (*Capsicum annuum* L.)

NUTRITIONAL QUALITY AND ANTIOXIDANT CAPACITY OF CACTUS PEAR (*Opuntia* spp), TOMATO (*Solanum lycopersicum* L.) AND SWEET PEPPER (*Capsicum annuum* L.)

Inés Eradia **Figueroa Cares**¹ y Ma. Teresa **Martínez Damián**²

RESUMEN GENERAL

El objetivo de este estudio fue evaluar el contenido de componentes bioquímicos y capacidad antioxidante de 12 variedades de tuna, 8 de jitomate comercial, 12 de jitomate silvestre y 8 de pimiento morrón. Las tunas púrpura, Cacalote y Tapón aguanoso presentaron contenidos de vitamina C de 191.2 y 199.9 mg ác. 100g⁻¹, 11636 y 9565 µg 100g⁻¹ de carotenos, 25.9 y 40.6 mg 100 g⁻¹ de betacianina, 18.3 y 19.8 mg 100 g⁻¹ de betaxantina y una capacidad antioxidante de 42.8 y 60.8 µmol eq Trolox 100g⁻¹. Jitomates comerciales y silvestres presentaron una capacidad antioxidante promedio de 96.3 µmol eq Trolox 100g⁻¹, pero las silvestres destacaron por su alto contenido de licopeno (4544 a 8247 µg 100 g⁻¹). Los pimientos rojos presentaron alto contenido de vitamina C (355.5 mg de ác. ascórbico 100 g⁻¹) y licopeno (5242 µg 100 g⁻¹) y capacidad antioxidante de hasta 1281 µmol eq Trolox 100 g⁻¹. Estos resultados permiten considerar a las tunas púrpuras, los jitomates silvestres y los pimientos rojos, como alimentos funcionales, por su alta calidad nutracéutica.

Palabras clave: ácido ascórbico, licopeno, betalainas y capacidad antioxidante

GENERAL ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the content of biochemical components and antioxidant capacity of 12 cactus pear cultivars, 8 commercial tomato cultivars, 12 native tomato and 8 commercial sweet pepper cultivars. The Cacalote and Tapón aguanoso purple cactus pears had ascorbic acid content of 191.2 and 199.9 mg 100g⁻¹, 11636 and 9565 mg 100g⁻¹ of carotene, 25.9 and 40.6 mg 100 g⁻¹ of betacyanin, 18.3 and 19.8 mg 100 g⁻¹ of betaxanthin and an antioxidant capacity of 42.8 and 60.8 µmol eq Trolox 100 g⁻¹. Commercial and native tomatoes had an average antioxidant capacity of 96.3 µmol eq Trolox 100g⁻¹, but the wild tomatoes stood out for their high level of lycopene (from 4544 to 8247 mg 100 g⁻¹). The red sweet peppers had high content of ascorbic acid (355.5 mg 100 g⁻¹) and lycopene (5242 mg 100 g⁻¹) and antioxidant capacity up to 1281 µmol eq Trolox 100 g⁻¹. These results support the view that purple cactus pears, native tomatoes and red sweet peppers, should be considered as functional foods due to their nutraceutical quality.

Key words: ascorbic acid, lycopene, betalains and antioxidant capacity

ÍNDICE DE CONTENIDO	PÁG
AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
DATOS BIOGRÁFICOS.....	v
RESUMEN GENERAL Y GENERAL ABSTRACT.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vii
ÍNDICE DE CUADROS.....	ix
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
2. CALIDAD NUTRIMENTAL Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN CULTIVARES DE TUNA (<i>Opuntia</i> spp).....	4
2.1 RESUMEN.....	5
2.2 ABSTRACT.....	6
2.3 INTRODUCCIÓN.....	7
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	8
2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	13
2.6 CONCLUSIONES.....	33
2.7 LITERATURA CITADA.....	34
3. CALIDAD NUTRIMENTAL Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN VARIEDADES DE JITOMATE (<i>Solanum lycopersicon</i> L.).....	39
3.1 RESUMEN.....	40
3.2 ABSTRACT.....	41

3.3 INTRODUCCIÓN.....	42
3.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	43
3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	50
3.6 CONCLUSIONES.....	72
3.7 LITERATURA CITADA.....	72
4. CALIDAD NUTRIMENTAL Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN VARIEDADES DE PIMIENTO MORRON (<i>Capsicum annum</i> L.).....	77
4.1 RESUMEN.....	78
4.2 ABSTRACT.....	79
4.3 INTRODUCCIÓN.....	80
4.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	81
4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	87
4.6 CONCLUSIONES.....	101
4.7 LITERATURA CITADA.....	101
5. CONCLUSIONES GENERALES.....	105
6. LITERATURA CITADA GENERAL.....	106
7. ANEXO.....	108

ÍNDICE DE CUADROS

		PÁG
2. CALIDAD NUTRIMENTAL Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN CULTIVARES DE TUNA (<i>Opuntia</i> spp)		
Cuadro 1.	Cuadros medios y significancia estadística de las variables evaluadas en frutos de 12 variedades de tuna, durante los años 2008 y 2009.....	14
Cuadro 2	Contenido de acidez, vitamina C y sólidos solubles totales, evaluados en frutos de 12 variedades de tuna.....	15
Cuadro 3	Contenido de fenoles, capacidad antioxidante y carotenos, evaluados en 12 variedades de tuna.....	19
Cuadro 4	Contenido de clorofila a, clorofila b y total, evaluados en 12 variedades de tuna.....	22
Cuadro 5	Contenido de antocianinas, betacianina y betaxantina, evaluados en 12 variedades de tuna.....	23
Cuadro 6	Peso fresco, índice de redondez y firmeza, evaluados en frutos de 12 variedades de tuna.....	26
Cuadro 7	Luminosidad, pureza del color y ángulo de tono, evaluados en 12 variedades de tuna.....	28
Cuadro 8	Contenido de acidez, vitamina C, sólidos solubles totales, fenoles y capacidad antioxidante, carotenos, clorofilas, antocianinas, betacianina, betaxantina, peso fresco, L, croma y hue, evaluados en frutos de 12 variedades de tuna durante los años 2008 y 2009.....	30
Cuadro 9	Coefficientes de correlación entre pares de caracteres registrados en pulpa de 12 variedades de tuna con base en 100 g de peso fresco.....	32

3. CALIDAD NUTRIMENTAL Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN VARIEDADES DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)

Cuadro 1.	Colectas de jitomate nativo y su origen.....	44
Cuadro 2	Cuadrados medios y significancia estadística de las variables evaluadas en frutos de ocho variedades comerciales de jitomate.....	50
Cuadro 3	Contenido de acidez, vitamina C, clorofila a y clorofila b de ocho variedades de jitomate comercial.....	51
Cuadro 4	Contenido de carotenos, antocianinas, capacidad antioxidante, fenoles y licopeno de ocho variedades de jitomate comercial.....	54
Cuadro 5	Contenido de fenoles, licopeno, sólidos solubles totales y peso fresco de ocho variedades de jitomate comercial.....	56
Cuadro 6	Índice de redondez, firmeza, luminosidad, intensidad del color y ángulo de tono de ocho variedades de jitomate comercial.....	58
Cuadro 7	Coefficientes de correlación entre pares de caracteres registrados en frutos de ocho variedades comerciales de jitomate en base a 100 g de peso fresco.....	61
Cuadro 8	Cuadrados medios y significancia estadística de las variables evaluadas en 14 genotipos de jitomate silvestre.....	62
Cuadro 9	Contenido de acidez, vitamina C, capacidad antioxidante y fenoles, evaluados en 14 genotipos de jitomate silvestre.....	63
Cuadro 10	Contenido de licopeno, sólidos solubles totales y peso fresco, evaluados en 14 genotipos de jitomate silvestre.....	66
Cuadro 11	Índice de redondez, firmeza, porcentaje de pulpa y vida de anaquel, evaluados en 14 genotipos de jitomate silvestre.....	68
Cuadro 12	Luminosidad, intensidad del color y ángulo de tono, evaluados en 14 genotipos de jitomate silvestre.....	69

Cuadro 13	Cuadrados medios y significancia estadística de las variables evaluadas en variedades comerciales y genotipos nativos de jitomate.....	70
Cuadro 14	Contenido de acidez, vitamina C y capacidad antioxidante de variedades comerciales y genotipos nativos de jitomate.....	71
Cuadro 15	Contenido de fenoles, licopeno y sólidos solubles totales de variedades comerciales y genotipos nativos de tomate.....	71
4. CALIDAD NUTRIMENTAL Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN VARIEDADES DE PIMIENTO MORRON (<i>Capsicum annum</i> L.)		
Cuadro 1.	Cuadrados medios y significancia estadística de las variables evaluadas en frutos de seis variedades comerciales de pimiento morrón.....	87
Cuadro 2.	Contenido de acidez, sólidos solubles totales, vitamina C y fenoles evaluados en frutos de seis variedades comerciales de pimiento morrón.....	88
Cuadro 3.	Capacidad antioxidante, contenido de clorofila a, clorofila b y clorofila total evaluados en frutos de seis variedades comerciales de pimiento morrón.....	91
Cuadro 4.	Contenido carotenos, licopeno, antocianinas, betacianina y betaxantina evaluados en frutos de seis variedades comerciales de pimiento morrón.....	93
Cuadro 5.	Peso fresco, índice de redondez y firmeza de frutos de seis variedades comerciales de pimiento morrón.....	96
Cuadro 6.	Luminosidad, pureza del color y ángulo de tono, evaluados en frutos maduros de seis variedades comerciales de pimiento morrón.....	98
Cuadro 7.	Coefficientes de correlación entre pares de caracteres registrados en frutos de seis variedades de pimiento morrón con base en 100 g de peso fresco.....	100

ÍNDICE DE ANEXOS

		PÁG
Cuadro 1A	Contenido de acidez, vitamina C, sólidos solubles totales y fenoles, evaluados en frutos de 12 variedades de tuna durante los años 2008 y 2009.....	108
Cuadro 2A	Capacidad antioxidante, contenido de clorofila a, clorofila b y clorofila total, evaluados en frutos de 12 variedades de tuna durante los años 2008 y 2009.....	109
Cuadro 3A	Contenido de carotenos, antocianinas, betacianina y betaxantina, evaluados en frutos de 12 variedades de tuna durante los años 2008 y 2009.....	110
Cuadro 4A	Peso fresco, luminosidad, pureza del color y ángulo de tono, evaluados en frutos de 12 variedades de tuna durante los años 2008 y 2009.....	111

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Las frutas y hortalizas constituyen elementos esenciales en la dieta humana, al aportar nutrientes indispensables como hidratos de carbono, proteínas, grasas, minerales y vitaminas, entre otros.

Estudios epidemiológicos han demostrado una relación directa entre una dieta rica en frutas y hortalizas y la menor incidencia de enfermedades crónicas, efecto que se atribuye a la presencia de compuestos bioactivos, fitoquímicos o fitonutrientes, que ejercen un efecto protector ante algunas enfermedades degenerativas. Estas sustancias en su mayoría se caracterizan por su capacidad antioxidante y son una alternativa natural que protege de la oxidación a las macromoléculas biológicas en el cuerpo (Cano *et al.*, 2005). Estos compuestos pueden ser de naturaleza liposoluble o hidrosoluble y tanto en plantas como en animales cumplen un papel crítico como protectores de procesos celulares ante el estrés oxidativo, que genera un desbalance entre la producción de radicales libres y las defensas antioxidantes (Rousseaux *et al.*, 2005). Dichos compuestos pueden ser adquiridos mediante el consumo de alimentos funcionales como frutas, hortalizas, cereales, nueces, aceite de olivo y vino, los cuales además de su valor nutritivo, se caracterizan por tener gran cantidad de compuestos con propiedades antioxidantes y contribuyen al mantenimiento de la salud y bienestar o a la disminución del riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares, cáncer y osteoporosis (Gómez-Romero *et al.*, 2007; Diplock *et al.*, 1999).

El organismo humano cuenta con dos sistemas antioxidantes, uno endógeno o enzimático y otro exógeno o no enzimático. Entre los compuestos responsables de este último, se encuentran las vitaminas C y E, carotenoides y compuestos fenólicos que provienen principalmente de frutas y hortalizas (Zamora, 2007; Palomo *et al.*, 2009).

Entre los carotenoides, se encuentra el licopeno, presente principalmente en jitomates, el cual, se acumula en la glándula prostática, por lo que se supone, disminuye el riesgo de cáncer de próstata (Moser, 2006). Otro tipo de compuestos que presentan alta actividad antioxidante son las betalainas, pigmentos rojos y amarillos, característicos de algunas especies de las familias *Chenopodiaceae* y *Cactaceae*, y son los principales responsables del color púrpura del betabel (*Beta vulgaris*) (Fernández-López y Almela, 2001).

La capacidad antioxidante varía considerablemente entre especies; por ejemplo, en frambuesa (*Rubus idaeus* L.), con base en peso fresco, es dos veces mayor que la de naranja (*Citrus sinensis* (L) Osbeck) y uva roja (*Vitis vinifera* L.), siete veces la de manzana (*Malus pumila* Mill var *domestica*) y plátano (*Musa acuminata* Colla), once veces la de pera (*Pyrus communis* L.) y 16 veces la del melón (*Cucumis melo* L.). Así, una dieta nutritiva y variada es beneficiosa al involucrar la interacción de compuestos antioxidantes mediante la correcta elección de los alimentos que la componen y al respecto, la Organización Mundial de la Salud recomienda una ingesta adecuada de frutas y hortalizas con alto contenido de compuestos antioxidantes como la tuna (*Opuntia* spp), jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) y pimiento morrón (*Capsicum annuum* L.) (Wang *et al.*, 1996; Ramírez-Silva *et al.*, 2009; Shukla y Matoo, 2009). Así mismo, el manejo cultural del cultivo y grado de madurez del fruto a la cosecha producen variabilidad en el contenido de compuestos bioactivos (Sepúlveda *et al.*, 2010).

En el caso de pitaya (*Stenocereus stellatus* Riccobono), los frutos con mayor capacidad antioxidante son los de color amarillo y blanco, los cuales a su vez tienen la mayor concentración de vitamina C y fenoles totales. Esto demuestra que no existe una

relación directa entre el color del fruto y su potencial antioxidante (Beltrán-Orozco *et al.*, 2009).

Dentro de las frutas y hortalizas de alto consumo en México, la tuna tiene especial importancia en las zonas áridas por su alto valor nutritivo, industrial, ecológico y medicinal (Gallegos y Méndez, 2000).

Por otra parte, el jitomate (*Solanum lycopersicum* Mill), es una de las especies hortícolas más importantes para consumo humano, tiene alto valor nutritivo y es una fuente importante de carotenoides, particularmente licopeno. En México es la segunda hortaliza por superficie cultivada y por volumen comercializado, pero al mismo tiempo es la primera por su valor de producción, existiendo gran diversidad genética (Kalt, 2005; Velasco y Nieto, 2006).

Otra especie hortícola de gran importancia en la dieta es el pimiento o chile morrón (*Capsicum annum* L.) por su alto contenido de vitamina C, versatilidad de consumo, ya sea en fresco, cocido o deshidratado y su variedad de formas y color de frutos. Además, los pimientos rojos son una fuente importante de carotenoides y son utilizados como colorantes en alimentos (Serrano *et al.*, 2010).

El presente estudio tuvo como objetivo realizar una caracterización física y bioquímica en tuna, jitomate y pimiento morrón y determinar la capacidad antioxidante y las relaciones existentes entre las variables bioquímicas y los parámetros de color, para identificar los caracteres que pueden ser utilizados para selección de genotipos.

**2. CALIDAD NUTRIMENTAL Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN
VARIEDADES DE TUNA (*Opuntia* spp)**

2.1 RESUMEN

La tuna (*Opuntia* spp) además de poseer alto contenido de vitaminas, minerales y fibra dietética, también contiene compuestos fitoquímicos con efecto antioxidante, entre los que se encuentran vitamina C, fenoles, carotenos, antocianinas y betalaínas. El objetivo de la presente investigación fue estudiar el contenido de componentes bioquímicos, físicos y capacidad antioxidante de 12 variedades de tuna provenientes de Zacatecas, cosechadas los años 2008 y 2009. El estudio se llevó a cabo en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. Las variedades de tuna púrpura, Cacalote y Tapón aguanoso, presentaron los mayores contenidos de vitamina C (191.2 y 199.9 mg ácido ascórbico 100g^{-1}), clorofila total (1195.3 y 1406.6 $\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$), carotenos (11636 y 9565 $\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$), antocianinas (20.41 y 34.71 mg cianidina-3-glucósido 100 g^{-1}), betacianina (25.9 y 40.6 mg betanina 100 g^{-1}), betaxantinas (18.3 y 19.8 mg indicaxantina 100 g^{-1}) y capacidad antioxidante (42.8 y 60.8 $\mu\text{mol eq Trolox } 100\text{g}^{-1}$), mientras que las variedades de tuna blanca, Cristalina, Mansa y Vaquera, tuvieron los menores contenidos de fenoles y capacidad antioxidante. El ambiente, determinado por el año de producción, afectó el contenido de pigmentos en variedades de tuna roja y púrpura. Se identificaron asociaciones positivas entre el contenido de antocianinas y vitamina C, clorofila total, betacianina y betaxantina, mientras que este último pigmento también se correlacionó con el contenido de carotenos. Las tunas púrpura tuvieron mayor contenido de fitonutrientes, lo que permite recomendarlas como alimentos con calidad nutracéutica.

Palabras clave: ácido ascórbico, carotenos, betalaínas, antocianinas, capacidad antioxidante.

2.2 ABSTRACT

The cactus pear (*Opuntia* spp) in addition to have high vitamins, minerals and dietary fiber content, it has effective antioxidant phytochemicals, among which are vitamin C, phenols, carotenoids, anthocyanins and betalains. The aim of this research was to study the content of biochemical and physical components, and antioxidant capacity of 12 cactus pear cultivars from Zacatecas, harvested in 2008 and 2009. The study was conducted in the Departamento de Fitotecnia of the Universidad Autonoma Chapingo. Purple cactus pears cultivars, Cacalote and Tapon aguanoso had the highest content of vitamin C (191.2 and 199.9 mg ascorbic acid, 100g⁻¹), total chlorophyll (1195.3 and 1406.6 mg 100g⁻¹), carotene (11 636 and 9565 mg 100g⁻¹), anthocyanins (20.41 and 34.71 mg cyanidin-3-glucoside 100 g⁻¹), betacyanin (25.9 and 40.6 mg betanin 100 g⁻¹), betaxanthins (18.3 and 19.8 mg indicaxantina 100 g⁻¹) and antioxidant capacity (42.8 and 60.8 mol Trolox eq 100 g⁻¹), whereas the white cactus pear cultivars, Cristalina, Mansa and Vaquera, had the lowest levels of phenols and antioxidant capacity. The environment as determined by the year of production affected the content of pigments in red and purple cultivars. Positive associations between anthocyanins and vitamin C, total chlorophyll, betacyanin and betaxanthin contents were found; the last one pigment was correlated with carotene content. The purple cactus pear has a higher content of phytonutrients, and their can be recommend as nutraceutical food.

Key words: ascorbic acid, carotenes, betalains, anthocyanin, antioxidant capacity.

2.3 INTRODUCCIÓN

México es considerado uno de los centros de origen y dispersión del género *Opuntia*, con gran diversidad de especies y cultivares, siendo un recurso vegetal de gran importancia para los habitantes de las zonas áridas y semiáridas. Su fruto es la tuna y debido a la presencia de pigmentos carotenoides y betalainas, varía desde rojo-púrpura hasta amarillo pálido, mientras que el alto contenido de sólidos solubles, hace que su sabor sea de gran atractivo tanto para consumo en fresco como para la elaboración de otros productos como jugos, mermeladas y edulcorantes (Gurrieri *et al*, 2000; Sáenz-Hernández, 2004; Sáenz, 2006).

Actualmente los consumidores dan especial atención a los aspectos nutricionales de los productos hortícolas, lo cual ha generado la tendencia a producir alimentos de alta calidad nutritiva por lo que la tuna ha cobrado gran importancia alimenticia, al presentar en su composición, antioxidantes como polifenoles, ácido ascórbico y pigmentos como carotenoides y betalainas (Cevallos-Casals y Cisneros-Zeballos, 2004).

Los benéficos efectos nutricionales del consumo de frutas y hortalizas se asocian no sólo con su aporte en vitaminas, minerales y fibra dietética, sino también a su contenido de fitoquímicos con efecto antioxidante, que contribuyen a la prevención de diversas enfermedades crónicas (Olivares, 2008).

Es por esto que las frutas y hortalizas destacan como el grupo de alimentos que más concentra y aporta antioxidantes al organismo, y existe evidencia epidemiológica que sugiere que su consumo puede reducir el riesgo de cáncer y enfermedades cardiovasculares, lo cual se debería en parte a la presencia de compuestos antioxidantes (Gómez-Romero *et al.*, 2007; Speisky, 2008).

Además, la industria alimentaria incorpora, en forma creciente y como una alternativa más segura, antioxidantes de origen natural debido a que existen restricciones legales para usar colorantes sintéticos, ya que pueden provocar problemas de toxicidad, reacciones de intolerancia y alérgicas (Soriano-Santos *et al.*, 2007).

En las especies del género *Opuntia*, los pigmentos sólo se encuentran en los frutos y tanto las betalainas como los carotenoides pueden estar presentes en piel y pulpa de las diversas variedades.

De acuerdo a lo anterior, los objetivos de la presente investigación fueron estudiar el contenido de algunos componentes bioquímicos, físicos y la capacidad antioxidante en frutos de 12 cultivares de tuna (*Opuntia* spp) provenientes de la región centro-norte de México, producidos durante los años 2008 y 2009; además, determinar las relaciones existentes entre las variables respuesta, especialmente con la capacidad antioxidante y con el color de pulpa.

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Los análisis se llevaron a cabo en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, México; se utilizó como material vegetal frutos de tuna de 12 variedades provenientes del Centro Regional Universitario Centro Norte (CRUCEN-Zacatecas) de la misma institución, los cuales fueron cosechados en madurez comercial, cuando el fruto presentó externamente el color característico de cada cultivar. Las variedades de tuna blanca fueron: Cristalina, Mansa y Vaquera, de la especie *O. albicarpa*; de fruto amarillo: la variedad Mango de *O. albicarpa*, de fruto anaranjado: Amarilla montesa y Pico chulo, ambas *O. megacantha*; de fruto rojo: Pabellón (*O. ficus-indica*), Cardona (*O. streptacantha*), Rosa de castilla y Torreaja, ambas *O. megacantha*;

y de fruto púrpura: las variedades Cacalote de *O. cochineria* y Tapón aguanoso de la especie *O robusta var.* Robusta.

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar, las repeticiones correspondieron a diez frutos por cada variedad, siendo la unidad experimental un fruto.

Las variables evaluadas fueron:

Acidez titulable (AOAC, 1980)

Se homogeneizaron 10 g de pulpa con 50 mL de agua destilada. De la mezcla obtenida se tomó una alícuota de 10 mL que se tituló con Hidróxido de Sodio 0.1 N utilizando Timolftaleína como indicador hasta alcanzar un pH de 8.2. La acidez se expresó como porcentaje de ácido cítrico utilizando la fórmula:

$$\% \text{ Ác. cítrico} = \frac{\text{mL NaOH} \times N \times \text{Meq. ácido} \times V \times 100}{\text{Peso muestra} \times \text{alícuota}}$$

Donde:

N = Normalidad del NaOH

V = volumen total (mL después de moler en la licuadora)

Meq. Ácido = Miliequivalentes del ácido presente en mayor proporción (0.064 para el ácido cítrico).

Vitamina C (ácido ascórbico) por el método de Tillman (AOAC, 1980)

Se homogeneizaron 5 mL de jugo con 50 mL de una solución de ácido oxálico (0.5 %), de la cual se tomó una alícuota de 5 mL y se tituló con solución de Tillman (0.01 %) hasta que permaneció una coloración rosa visible por 1 minuto. La concentración se expresó en mg 100 g⁻¹ utilizando como estándar el ácido ascórbico.

Sólidos solubles totales

Se determinaron en el jugo del fruto, mediante un refractómetro digital marca ATAGO, modelo PAL-1 con escala de 0 a 53 %, y se expresaron como ° Brix.

Fenoles totales por el método de Litwack (1967)

Se tomaron 2 mL de jugo de tuna a los cuales se adicionaron 0.4 mL de solución extractora compuesta por metanol, cloroformo y agua (2:1:1) y se centrifugó 15 minutos a 190 g. Se extrajo el sobrenadante, se adicionaron 10 mL de Na₂CO₃ (10 %), se incubó durante 15 minutos a 38 °C, se tomó 1 mL de la solución, se agregó 1 mL de reactivo Folin-Ciocalteu, se dejó reposar 15 minutos en oscuridad y se obtuvo la absorbancia a 660 nm en un espectrofotómetro UNICO®, modelo 1100 RS. Los datos se expresaron en mg 100g⁻¹, tomando como referencia una curva estándar de ácido gálico.

Capacidad antioxidante mediante el método *N,N*-dimetil-*p*-fenil-*N*-diamina dihidrocloro (DMPD) (Fogliano *et al.*, 1999)

El método consistió en preparar una solución de DMPD disolviendo 209 mg en 10 mL de agua destilada, de la cual se tomó 1 mL y se agregaron 100 mL de amortiguador acetatos 0.1 M (pH=5.25). En la solución obtenida se agregó 0.2 mL de cloruro férrico 0.05 M, logrando una concentración final de 0.1 mM. De esta solución se obtuvo su absorbancia a 505 nm, lo que correspondió a la señal no inhibida (A₀). La curva estándar de antioxidante se determinó agregando 0.2 mL de diferentes concentraciones de TROLOX, obtenidas a partir de una solución de TROLOX en metanol (1 mg mL⁻¹), a 2 mL de la solución DMPD oxidada (color púrpura). La mezcla se agitó 10 minutos y se midió la absorbancia a 505 nm (A_f). La absorbancia de cada muestra se expresó como porcentaje de la solución del catión radical no inhibido mediante la ecuación:

$$A_{505} (\%) = (1 - A_f/A_o) * 100$$

donde, A_o = absorbancia del catión radical no inhibido; A_f = absorbancia medida 10 minutos después de haber agregado la solución estándar de TROLOX o la muestra del extracto de jugo. La capacidad antioxidante se expresó en μmol equivalentes trolox 100 g^{-1} .

Clorofila total y carotenos por el método de Lichtenthaler (1987)

Se tomaron 10 mL de jugo a los cuales se añadieron 10 mL de acetona a 80 %, la solución se filtró y se obtuvo la absorbancia a 663, 646 y 476 nm, utilizando acetona como blanco. Los cálculos se realizaron con las siguientes fórmulas:

$$\text{Clorofila a } (C_a) = 12.25 A_{663} - 2.79 A_{646}$$

$$\text{Clorofila b } (C_b) = 21.50 A_{646} - 5.10 A_{663}$$

$$\text{Clorofila total } (C_{a+b}) = 7.15 A_{663} + 18.71 A_{646}$$

$$\text{Carotenos} = (1000 A_{470} - 1.63 C_a - 104.96 C_b)(221^{-1})$$

Antocianinas por el método establecido por Craker (1971)

Se pesan 0.5 g de tejido, se trituran en mortero con metanol-HCl a 1 % para posteriormente filtrar y leer absorbancia a 525 nm. Los valores se expresaron en $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$ de cianidina-3-glucósido (antocianina predominante) utilizando la ecuación:

$$\text{Antocianina } (\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}) = (A \times \text{PM} \times \text{FD} \times 100) \varepsilon^{-1}$$

donde, A = absorbancia a 525 nm, PM = peso molecular de la cianidina-3-glucósido (449.2), FD = factor de dilución y ε = absortividad molar para la cianidina-3-glucósido (26,900).

Betalaínas por el método de Stintzing *et al.* (2003)

Se utilizó este método con algunas modificaciones, donde se tomó 1 mL de jugo de tuna al cual se agregó amortiguador Mc Ilvaine ($\text{pH}=6.5$) en dilución exacta para cada

muestra, de forma tal, que la absorbancia a 480 nm (indicaxantina) y 538 nm (betanina) estuviera entre 0.8 y 1.0. El cálculo del contenido de betanina e indicaxantina se realizó mediante la fórmula:

$$BC \text{ (mg L}^{-1}\text{)} = (A \times FD \times PM \times 1000)(\epsilon \times l)^{-1}$$

donde, BC = contenido de betanina/indicaxantina; A = absorbancia; FD = factor de dilución; PM = peso molecular (betanina/indicaxantina); ϵ = coeficiente de extinción molar de betanina/indicaxantina; l = ancho de la cubeta del espectrofotómetro (1 cm).

Peso fresco

Se pesó el fruto completo con balanza electrónica Ohaus[®] modelo Scout Pro SP2001, una vez que fue trasladado al laboratorio.

Color del fruto

Se determinó sobre la epidermis del fruto mediante un colorímetro manual ColorTec-PMC, el cual mediante un sistema triestímulo permite obtener las dimensiones L, a y b. El parámetro L mide directamente la luminosidad o brillantez y varía de 0, que representa color totalmente oscuro, hasta 100 que corresponde al máxima brillo. El valor “a” representa al color rojo si es positivo y al verde si es negativo, y el parámetro “b” corresponde al amarillo si es positivo y al azul si es negativo. A partir de los valores a y b se obtiene $\text{Croma} = \sqrt{a^2 + b^2}$, que mide la intensidad del color reportando los datos con base en el índice de saturación y $\text{Hue} = \tan^{-1} \left(\frac{b}{a} \right)$, que corresponde al ángulo de tono (Little, 1975; Mc Guire, 1992; Anónimo, 2001).

Índice de redondez (diámetro polar/diámetro ecuatorial)

El índice de redondez define la forma del fruto, y corresponde a la relación entre longitud y diámetro máximo. Se determinó con un vernier digital marca GENERAL[®],

para lo cual se midió diámetro polar (dp) y diámetro ecuatorial (de) de cada fruto, y posteriormente se calculó la relación [(diámetro polar)/(diámetro ecuatorial)].

Firmeza del fruto

Se midió en la zona ecuatorial de los frutos sin piel, utilizando un texturómetro digital compact Gauge (Mecmesin®, EE.UU.) con puntal en forma de cono con diámetro y altura de 9 mm, registrándose la lectura en Newtons (N) de la fuerza aplicada hasta la penetración del puntal.

Análisis estadístico

Para determinar diferencias entre los cultivares estudiados y entre los dos años de evaluación, los datos obtenidos de todas las variables estudiadas fueron sometidos a un análisis de varianza y a una prueba de comparación de medias de Tukey con $p \leq 0.05$. Posteriormente se llevó a cabo un análisis de correlación para determinar relaciones lineales entre pares de variables, considerando como criterio que por lo menos 50 % ($r^2=0.5$) de la variación de una variable esté explicada por otra. Para todos los análisis se utilizó el programa estadístico SAS V 8.0 (1998).

2.5 RESULTADOS Y DISCUSION

Análisis de varianza

El análisis de varianza (Cuadro 1) mostró que las variedades tuvieron variaciones significativas ($p \leq 0.05$) en todos los caracteres evaluados; en tanto que años afectó significativamente el contenido de vitamina C, sólidos solubles totales, fenoles, clorofila a, clorofila total, capacidad antioxidante, antocianinas, betaxantina, peso fresco y luminosidad.

Por otra parte, todos los caracteres, a excepción de hue, presentaron un comportamiento diferencial ($p \leq 0.05$) de las variedades en los dos años de evaluación.

Fenómenos similares respecto a la interacción variedad x año han sido observados en especies como manzana (*Malus pumila* Mill var. *domestica*) al modificar el contenido de fenoles, y en arándano americano (*Vaccinium corymbosum* L.), donde además del contenido de fenoles, se modificó la capacidad antioxidante (van der Sluis *et al.*, 2001; Howard *et al.*, 2003).

Cuadro 1. Cuadrados medios y significancia estadística de las variables evaluadas en frutos de 12 variedades de tuna, durante los años 2008 y 2009.

FV	AC	VC	SST	FE	CA	CB	CT	CR
Variedad	0.04 *	41662 *	20.2 *	164.1 *	65911 *	314632 *	1441208 *	41956249 *
Año	0.00	121203 *	98.2 *	966.2 *	45015 *	15876	207843 *	56501
VxA	0.01 *	25615 *	4.3 *	127.0 *	91712 *	498711 *	96552 *	7601826 *
Error	0.00	1396	0.9	10.6	4929	16535	32570	513011
CV (%) [†]	33.7	52	7.4	26.7	39	45	38	38
Media	0.11	72	13.2	12.2	182	288	470	1906

	AX	AN	BC	BX	PF	L	C	H	IR	FI
Variedad	112423676 *	1075 *	1347 *	385 *	10768 *	986 *	219 *	8664 *	0.20 *	11.7 *
Año	151936328 *	401 *	0.4	83 *	43226 *	2544 *	2.7	303	-	-
VxA	121737733 *	89 *	7.7	17 *	1847 *	75 *	166 *	224	-	-
Error	2666164	11	10.8	4	285	15	27	171	0.01	0.9
CV (%) [†]	61	52	36.5	35	11	11	20	25	8.12	19.1
Media	2659	6	8.3	6	149	36	25	53	1.37	5.1

FV: fuente de variación, AC: acidez, VC: vitamina C, SST: sólidos solubles totales, FE: fenoles, CA: clorofila a, CB: clorofila b, CT: clorofila total, CR: carotenos totales, AX: capacidad antioxidante, AN: antocianinas, BC: betacianina, BX: betaxantina, PF: peso fresco, L: luminosidad, C: croma, H. hue, IR: índice de redondez y FI: firmeza.. [†]CV: coeficiente de variación. *: significativo con $p \leq 0.05$.

Con respecto a la comparación de variedades, Cacalote (tuna púrpura) presentó la máxima acidez, y junto a Tapón aguanoso, también de fruto púrpura, el mayor contenido de vitamina C; sin embargo, en Cacalote y Cardona (tuna roja) se encontró el menor contenido de sólidos solubles totales (Cuadro 2).

Cuadro 2. Contenido de acidez, vitamina C y sólidos solubles totales, evaluados en pulpa del fruto de 12 variedades de tuna.

VARIEDAD	Acidez (% ác. cítrico)		Vitamina C (mg ác. ascórbico 100 g ⁻¹)		Sólidos solubles totales (° Brix)
Cristalina	0.06	c [§]	18.12	d	12.51 bcd
Mansa	0.10	bc	35.22	cd	12.19 cd
Vaquera	0.07	c	57.71	bcd	14.24 a
Mango	0.10	bc	20.07	d	13.62 abc
Amarilla Montesa	0.09	bc	28.11	cd	13.97 ab
Pico Chulo	0.08	c	31.13	cd	13.71 abc
Pabellón	0.11	bc	55.55	bcd	14.87 a
Cardona	0.10	bc	44.43	bcd	10.24 e
Rosa de Castilla	0.09	bc	86.40	bc	14.71 a
Torreoja	0.07	c	94.50	b	14.78 a
Cacalote	0.30	a	191.19	a	11.43 de
Tapón aguanoso	0.14	b	199.99	a	12.17 cd
DMSH [¶]	0.06		59.22		1.56

[¶]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [§]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($p \leq 0.05$).

La alta acidez de los frutos de la variedad Cacalote (0.30 %), en comparación a 0.18 % señalado como referencia por Sáenz (2006), podría ser una desventaja de la variedad, ya que puede modificar el sabor de la tuna, al ser consumida en fresco o como jugo; sin embargo, para que afecte el consumo, la acidez debería ser aún mayor, como la encontrada en *O. dillenii*, producida en España, que alcanza 1.23 %, lo que la hace tener un muy bajo consumo (Díaz *et al.*, 2007).

Las demás variedades presentaron valores entre 0.07 y 0.14 % de ácido cítrico, similares al rango de 0.01 a 0.18 % señalado como referencia por Sáenz (2006); sin embargo, fueron superiores a la acidez encontrada en otras investigaciones, en tuna blanca, amarilla y roja, de las especies *O. ficus-indica*, *O. elatior* y *O. dillenii*, las cuales presentaron entre 0.02 y 0.13 % de ácido cítrico (Gurrieri *et al.*, 2000; Stintzing *et al.*, 2003; Moreno-Álvarez *et al.*, 2008).

En las variedades bajo estudio, se encontraron contenidos de vitamina C de 18.12 a 199.99 mg de ácido ascórbico 100 g⁻¹, superiores a los reportados en otras investigaciones, donde fluctuaron de 15.9 a 38 mg 100 g⁻¹ de peso fresco (Gurrieri *et al.*, 2000; Stintzing *et al.*, 2003; Díaz *et al.*, 2007; Moreno *et al.*, 2008), y a los 41 mg 100 g⁻¹, señalados como referencia para tuna (Sáenz, 2006).

En tuna, la vitamina C corresponde casi en 100 % a ácido ascórbico, mientras que en otros órganos del nopal como los cladodios (nopalitos), alcanza sólo 26 % (Corral-Aguayo *et al.*, 2008). Esto la hace un fruto rico en ácido ascórbico, mejor que otros frutos, consideradas excelentes fuentes de vitamina C, como naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck), frambuesa (*Rubus idaeus* L.) y kiwi (*Actinidia chinensis* Planch.), que presentan contenidos entre 37 y 50 mg 100 g⁻¹ (Sun *et al.*, 2002; Franke *et al.*, 2004 y Tavarini *et al.*, 2008).

Las variedades de tuna roja (Pabellón, Rosa de castilla y Torreoja) presentaron los mayores valores de sólidos solubles totales, superiores a Cacalote, de fruto púrpura; sin embargo, fueron estadísticamente iguales a lo encontrado en las variedades Mango, de tuna anaranjada, Amarilla montesa y Pico chulo de fruto amarillo y Vaquera de tuna blanca, lo que indicaría que esta variable no está relacionada con el color del fruto (Cuadro 5).

Cabe destacar que los menores contenidos de sólidos solubles totales, se encontraron en Cardona y Cacalote, con 10.24 y 11.43 ° Brix, respectivamente, inferiores a los valores de referencia (12 a 17 ° Brix) señalados por Sáenz (2006), pero similares al intervalo de 10.35 a 14.8 ° Brix, reportado por Stintzing *et al.* (2003), Díaz *et al.* (2007) y Repo y Encina (2008), para tunas de las especies *O. ficus-indica* y *O. dillenii*.

Los niveles de sólidos solubles totales encontrados en las variedades bajo estudio (de 10.24 a 14.87 ° Brix), fueron superiores a los contenidos reportados por Mondragón y Gallegos (2010) para tunas de las variedades Torreoja, Cristalina, Amarilla montesa y Pico chulo, las cuales presentaron entre 12.6 y 13.2 ° Brix.

De acuerdo con las altas concentraciones de sólidos solubles totales y la baja acidez (0.07 a 0.30 %) encontradas en las variedades estudiadas, los frutos pueden considerarse como un medio adecuado para el desarrollo microbiológico, por lo que para su manejo poscosecha es probable que requieran de un tratamiento térmico para el control de microorganismos, como lo sugiere Sáenz (2006).

Así mismo, las altas concentraciones de sólidos solubles totales del jugo de las tunas de las variedades Vaquera, Pabellón, Rosa de castilla y Torreoja, superiores a 14 ° Brix, permitirían la obtención de un edulcorante líquido natural, mediante un tratamiento enzimático, seguido de operaciones de decoloración y filtración, que concentrarían el jugo

hasta 60 ° Brix. El producto generado podría ser de color amarillo-oro levemente pálido, de viscosidad similar a la miel, con dulzor agradable e intermedio entre la glucosa y la fructosa (Sáenz-Hernández, 2004).

Las variedades de tuna blanca (Mansa, Cristalina y Vaquera) presentaron las menores concentraciones de fenoles (4.5 a 7.5 mg de ácido gálico 100 g⁻¹), mientras que en las demás se encontraron entre 10.0 y 20.9 mg de ácido gálico 100 g⁻¹ (Cuadro 3), donde el más alto correspondió a Tapón aguanoso, de fruto púrpura, pero fue estadísticamente igual al presentado por Mango, de tuna amarilla.

Los contenidos de fenoles de las variedades evaluadas son inferiores a los mencionados por otros investigadores como Stintzing *et al.* (2005), quienes encontraron en frutos de *O. ficus-indica*, blanca, anaranjada, roja y púrpura, entre 23.05 y 62.86 mg de ácido gálico 100 g⁻¹; Repo y Encina (2008) que en tuna roja (*O. ficus-indica*) encontraron un contenido de 52 mg de ácido gálico 100 g⁻¹, mientras que Díaz *et al.* (2007) reportaron para *O. dillenii* 117 mg de ácido gálico 100 g⁻¹ y para *O. ficus-indica* de fruto blanco y anaranjado, 0.07 y 0.09 mg de ác. gálico 100 g⁻¹, respectivamente.

Al respecto, Cantwell (1995) señala que la piel de tuna blanca contendría niveles altos de fenoles; sin embargo, en las tunas bajo estudio solamente se evaluó la pulpa de los frutos, encontrando un contenido de 4.54 a 16.68 mg de ácido gálico 100 g⁻¹, lo que podría explicar la diferencia con los valores reportados por Corral-Aguayo *et al.* (2008) para tuna cv. Reyna, también de pulpa blanca, la cual presentó un contenido de 72.30 mg de ácido gálico 100 g⁻¹.

Al igual que en la vitamina C, las variedades de tuna púrpura (Cacalote y Tapón aguanoso) presentaron capacidad antioxidante, significativamente superior a las demás

variedades, con valores de 11636 y 9565 $\mu\text{mol eq Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente (Cuadro 3).

Cuadro 3. Contenido de fenoles, capacidad antioxidante y carotenos, evaluados en 12 variedades de tuna.

VARIEDAD	Fenoles (mg ác. gálico 100g^{-1})	Capacidad antioxidante ($\mu\text{mol eq Trolox } 100\text{g}^{-1}$)	Carotenos ($\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$)
Cristalina	5.7 ef [§]	308 c	46.2 f
Mansa	4.5 f	357 c	42.8 f
Vaquera	7.5 def	335 c	60.8 f
Mango	16.6 ab	561 c	1346.4 cde
Amarilla Montesa	13.2 bc	744 c	1817.5 cd
Pico Chulo	12.1 bcd	618 c	1778.8 cd
Pabellón	10.0 cde	589 c	944.8 def
Cardona	14.7 bc	4311 b	291.3 ef
Rosa de Castilla	12.8 bc	858 c	1197.3 def
Torreoja	13.7 bc	2947 bc	2538.1 c
Cacalote	13.8 bc	11636 a	7303.3 a
Tapón aguanoso	20.9 a	9565 a	4609.4 b
DMSH [¶]	5.1	2723	1194.5

[¶]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [§]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($p \leq 0.05$).

En las variedades rojas destaca por su alta capacidad antioxidante la variedad Cardona que con 4311 $\mu\text{mol eq Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$, superó a Rosa de castilla que presentó solamente 858 $\mu\text{mol eq Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$, mientras que en las tunas blancas, amarillas y

anaranjadas se encontraron los menores valores que fluctuaron entre 308 y 744 $\mu\text{mol eq Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$; sin embargo, éstos superaron la capacidad antioxidante encontrada por Stintzing *et al.* (2005) en tunas blancas, anaranjadas, rojas y púrpuras, provenientes de California (USA), las cuales presentaron entre 224 y 364 $\mu\text{mol eq Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$.

Los valores promedio encontrados en las tunas estudiadas fueron de 10600 $\mu\text{mol eq Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$ para tunas púrpura, 2176 $\mu\text{mol eq Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$ para rojas, mientras que tunas amarillas y blancas tuvieron una capacidad antioxidante de sólo 560 y 333 $\mu\text{mol eq Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente. Al comparar estos resultados con lo encontrado por Kuti (2004), en tunas de igual color, producidas en Texas (USA), fueron superiores en las variedades púrpura, similares en las rojas, pero inferiores en las tunas amarillas y blancas, ya que el autor reportó capacidad antioxidante de 4920, 2520, 1580 y 2630 $\mu\text{mol eq Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente.

Así mismo, la capacidad antioxidante encontrada en las variedades de tuna blanca estudiadas, también fue menor que el cv. Reyna (blanca), proveniente de Guanajuato (México), ya que ésta presentó una capacidad antioxidante de 500 $\mu\text{mol eq Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$ (Corral-Aguayo *et al.*, 2008).

En cuanto al contenido de carotenos (Cuadro 3), significativamente superior en las variedades Tapón aguanoso y Cacalote (de fruto púrpura), se puede observar que de las variedades rojas, Torreoja tuvo un contenido estadísticamente superior, que las variedades amarillas y anaranjada.

Estos resultados no coinciden con lo encontrado por Kuti (2004), quien reporta los mayores contenidos de carotenos en tunas amarillas (*O. stricta var. Stricta*) con 2370 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$, seguidas por las rojas (*O. streptacantha*), que presentaron 1460 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$, mientras que los menores contenidos se encontraron frutos púrpura (*O. lindheimeri*) y

blanco (*O. ficus-indica*), con 670 y 290 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente; sin embargo, lo encontrado en este estudio es similar a lo reportado por Moreno-Álvarez *et al.* (2008) en tunas rojas de la especie *O. elatior*, las que tuvieron concentraciones de carotenos de hasta 3234 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$.

El contenido de carotenos de las variedades blancas estudiadas fue superior a los 50 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ encontrados por Corral-Aguayo *et al.* (2008) en tuna blanca cv. Reyna. Cabe destacar que en dicho estudio también se evaluó este pigmento en cladodios, los cuales tuvieron 800 μg de carotenos 100 g^{-1} , significativamente superior al contenido del fruto.

El contenido de clorofila a y b no presentó diferencias muy claras (Cuadro 4), ya que frutos de diferente color presentaron valores estadísticamente iguales; sin embargo, las variedades Cacalote y Tapón aguanoso, a pesar de ser frutos de color púrpura, tuvieron una concentración de clorofila total significativamente superior a las demás variedades.

Lo anterior podría deberse a que pigmentos de color rojo como las antocianinas, betacianinas y carotenos, enmascaran a pigmentos verdes y amarillos, los cuales, aunque se encuentren en altas concentraciones, no son perceptibles visualmente.

Lo observado en el contenido de clorofilas es contrario a lo que se podría esperar, ya que de acuerdo al color del fruto, se asocia un mayor contenido de clorofila a frutos de color verde (blanco) y no púrpura o rojo; sin embargo, Burns *et al.*, (2003), encontraron en brócoli (*Brassica oleracea* var. *cymosa* Duch), que se caracteriza por su color verde, un contenido de solamente 10.60 $\mu\text{g } \text{g}^{-1}$ de clorofila a y 8.50 $\mu\text{g } \text{g}^{-1}$ de clorofila b, bastante menor a lo encontrado en las tunas bajo estudio.

Cuadro 4. Contenido de clorofila a, clorofila b y total, evaluados en 12 variedades de tuna.

VARIEDAD	Clorofila a ($\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$)	Clorofila b ($\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$)	Clorofila total ($\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$)
Cristalina	166.27 cde [§]	208.53 cd	302.33 bcd
Mansa	66.61 e	131.97 cd	233.77 cd
Vaquera	249.28 abc	570.17 a	495.39 bc
Mango	172.23 bcde	294.02 c	544.06 b
Amarilla Montesa	164.56 cde	103.59 cd	261.81 bcd
Pico Chulo	254.63 abc	311.58 bc	259.99 bcd
Pabellón	56.22 e	76.52 d	187.75 d
Cardona	201.45 bcd	222.49 cd	161.97 d
Rosa de Castilla	90.02 de	129.88 cd	234.46 cd
Torreoja	142.92 cde	185.98 cd	187.35 d
Cacalote	347.96 a	508.58 ab	1195.33 a
Tapón aguanoso	286.76 ab	674.10 a	1406.56 a
DMSH [¶]	117.08	214.45	300.97

[¶]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [§]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($p \leq 0.05$).

En el Cuadro 5 se observa que al igual que en las variables anteriores, las variedades de tuna púrpura, Tapón aguanoso y Cacalote, fueron significativamente superiores en los contenidos de antocianinas, betacianina y betaxantina, y fueron seguidas por las variedades rojas, anaranjadas, amarillas y blancas; esto, a pesar de que la betaxantina corresponde a un pigmento de color amarillo.

Cuadro 5. Contenido de antocianinas, betacianina y betaxantina, evaluados en 12 variedades de tuna.

VARIEDAD	Antocianinas (mg cianidina 3- glucósido 100 g ⁻¹)	Betacianina (mg betanina 100 g ⁻¹)	Betaxantina (mg indicaxantina 100 g ⁻¹)
Cristalina	0.09 d [§] (1.3) ⁰	0.96 e (13.5)	0.90 e (12.4)
Mansa	0.06 d (0.8)	0.50 e (6.9)	0.58 e (8.2)
Vaquera	0.15 d (2.1)	1.11 de (15.5)	1.18 de (16.4)
Mango	0.38 d (5.3)	1.45 de (20.4)	2.84 cde (40.7)
Amarilla Montesa	0.61 d (7.9)	1.17 de (15.4)	3.82 cde (49.8)
Pico Chulo	0.81 d (10.3)	4.15 cde (54.9)	4.26 cd (55.0)
Pabellón	2.37 d (33.0)	3.11 de (43.7)	3.47 cde (48.4)
Cardona	4.37 cd (72.9)	5.51 cde (115.2)	3.33 cde (66.7)
Rosa de Castilla	4.18 cd (57.8)	6.21 cd (87.0)	5.71 bc (79.8)
Torreoja	8.76 c (108.4)	9.18 c (112.7)	8.83 b (108.9)
Cacalote	20.41 b (323.9)	25.97 b (418.5)	18.25 a (285.8)
Tapón aguanoso	34.71 a (495.7)	40.59 a (599.1)	19.75 a (292.1)
DMSH [¶]	5.23	5.21	3.34

[¶]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [§]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($p \leq 0.05$). ⁰Valores en mg L⁻¹

En cuanto a las antocianinas, el mayor contenido se encontró en tuna púrpura Tapón aguanoso (34.71 mg de cianidina-3-glucósido 100 g⁻¹) y fue comparativamente bajo en relación a frutos de otras especies que también tienen coloración roja y púrpura como frambuesa (*Rubus idaeus* L.), mora (*Rubus fruticosus* L.) y grosella (*Ribes rubrum* L.), que tienen entre 7.5 y 223 mg de cianidina-3-glucósido 100 g⁻¹. Cabe destacar que el valor más bajo corresponde a frambuesa y grosella de fruto color amarillo (Pantelidis *et al.*, 2007).

La concentración de antocianina de Tapón aguanoso (495.7 mg cianidina-3-glucósido L⁻¹) también fue menor que los 1328 mg cianidina-3-glucósido L⁻¹ que tiene la granada (*Punica granatum* L.), especie cuyo fruto es de color rojo sin llegar a púrpura, pero se caracteriza por alto contenido de este pigmento (Sepúlveda *et al.*, 2010).

Los valores encontrados en este estudio se explicarían porque las diferentes coloraciones que caracterizan a las tunas se deberían a la combinación de las dos principales betalaínas, que corresponden al pigmento rojo (betacianina) y amarillo-anaranjado (betaxantina), y no a las antocianinas (Butera *et al.*, 2002).

Es así como se encontró en este estudio, que las variedades de frutos púrpura (Cacalote y Tapón aguanoso), presentaron diferencias en los contenidos tanto de betacianina como de betaxantina (Cuadro 5) al compararlos con los resultados obtenidos por Fernández-López y Almela (2001), en tunas de igual color, ya que encontraron contenido promedio de betacianina de 19 mg 100 g⁻¹, menor a los 41.59 mg de betanina 100 g⁻¹ encontrados en Tapón aguanoso, mientras que los 19.75 mg de indicaxantina 100 g⁻¹ fueron inferiores a los 30 mg 100 g⁻¹, reportados por los autores. En el mismo estudio se analizaron frutos amarillos; sin embargo, solamente detectaron betaxantinas en una concentración de 25 mg 100 g⁻¹, mayor a lo encontrado en el presente estudio, donde las variedades amarillas no superaron los 4.3 mg de indicaxantina 100 g⁻¹.

Al mismo tiempo, el valor promedio encontrado en las variedades rojas bajo estudio (Pabellón, Cardona, Rosa de castilla y Torreoja), alcanzó 89.6 mg L⁻¹, superior a los 80 mg L⁻¹ encontrados en una investigación llevada a cabo en Venezuela en *O. boldinghii*, también en tunas rojas (Viloria-Matos *et al.*, 2002).

Las variedades púrpura: Cacalote y Tapón aguanoso también tuvieron contenidos de betacianina (418.5 y 599.1 mg de betanina L⁻¹) similares a los 431 mg de betanina L⁻¹

¹, pero superiores en betaxantina (292.1 y 285.8 mg indicaxantina L⁻¹) a los 195.8 mg indicaxantina L⁻¹, encontrados por Stintzing *et al.* (2005) en variedades de igual color.

Cabe señalar, que las antocianinas, a pesar de ser pigmentos químicamente similares a las betalaínas, tienen la desventaja de ser menos estables en respuesta a la acidez y a la temperatura, por lo que existe un mayor interés por las betalaínas para ser utilizadas como pigmentos naturales (Cantwell, 1995; Vilorio-Matos *et al.*, 2002).

En el Cuadro 6 se puede observar que frutos con mayor peso y tamaño se encuentran en variedades de nopal que producen tunas de color verde claro como Cristalina, seguida por Mango y Vaquera, situación similar a los estudios de Pimienta y Muñoz-Urías (1999). Los frutos de Cardona, de color rojo, fueron los más pequeños y de menor peso.

De acuerdo con la caracterización presentada por Mondragón y Gallegos (2010), donde Cristalina es una de las variedades con frutos de mayor tamaño con un peso de 207.5 g, mientras que Amarilla montesa y Pico chulo se distinguen por tener un peso intermedio de 170.2 y 174.2 g, lo que comparado con lo encontrado en esta investigación, indica que los frutos estudiados presentaron un peso inferior, ya que Cristalina pesó 199.9 g, Amarilla montesa 157.2 g y Pico chulo, 157.1 g. En cambio, para la variedad Torreja, los mismos autores señalan un peso de 145.4 g, mientras que los frutos de esta variedad, analizados en el presente estudio, tuvieron un peso promedio de 160 g.

En otro estudio similar llevado a cabo por Gallegos y Méndez (2000), se señala para Cristalina un peso mayor (213 g) al de los frutos bajo estudio; mientras que para Mango, Amarilla montesa, Pico chulo, Cardona y Torreja fueron menores (128, 146, 113, 59 y 115 gramos) a los encontrados en esta investigación.

Cuadro 6. Peso fresco, índice de redondez y firmeza, evaluados en frutos de 12 variedades de tuna.

VARIEDAD	Peso fresco (g)	Índice de redondez (dp/de)	Firmeza (N)
Cristalina	199.9 a [§]	1.47 b	8.20 a
Mansa	147.3 bc	1.36 bcd	4.40 cdef
Vaquera	164.7 b	1.19 de	7.06 ab
Mango	168.5 b	1.38 bcd	4.02 def
Amarilla Montesa	157.2 bc	1.80 a	6.20 abc
Pico Chulo	157.1 bc	1.45 bc	3.48 ef
Pabellón	135.2 cd	1.30 bcde	5.72 bcd
Cardona	64.4 e	1.22 cde	4.10 cdef
Rosa de Castilla	167.7 b	1.53 b	5.50 bcde
Torreaja	160.0 bc	1.49 b	4.12 cdef
Cacalote	113.7 d	1.17 de	3.14 f
Tapón aguanoso	156.8 bc	1.06 e	5.76 bcd
DMSH [¶]	26.8	4.86	4.86

[¶]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [§]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($p \leq 0.05$).

Las diferencias de peso pueden atribuirse a factores climáticos, de manejo como fertilización, o a prácticas culturales tendientes a adelantar la producción como podas y desbrotes, lo que hace que el desarrollo de los frutos sea muy diferente (Esparza-Frausto *et al.*, 2004).

Al comparar la forma del fruto con la nomenclatura establecida por la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV) (Pelayo *et al.*, 2010), que clasifica las tunas de acuerdo a denominaciones de forma, longitud, diámetro máximo, relación entre longitud y diámetro máximo, entre otras características morfológicas, se puede apreciar (Cuadro 6) que todos los frutos presentan valores mayores a uno, lo que indica que tienen forma alargada; sin embargo, el valor 1.80 de la variedad Pico chulo lo clasifica según su forma, como un fruto “elíptico estrecho” y según la relación entre longitud y diámetro máximo, como un fruto “muy grande”.

Al mismo tiempo, los índices de redondez encontrados en las variedades Cristalina, Amarilla montesa, Pico chulo y Torreoja son superiores a los mencionados en la caracterización realizada por Mondragón y Gallegos (2010), quienes señalan 1.45, 1.56, 1.39 y 1.52, para Cristalina, Amarilla montesa, Pico chulo y Torreoja, respectivamente.

En cuanto a la firmeza del fruto (Cuadro 12), presentó valores entre 3.14 y 8.20 N; los cuales equivalen a 0.50 y 1.31 $\text{kg}_f \text{cm}^{-2}$, al considerar que N (newton) = 9.807 kg_f (Pelayo *et al.*, 2010), y que el diámetro del puntal del penetrómetro utilizado para medir esta característica, mide 9 mm. Estos valores son inferiores a lo señalado por Barbera *et al.* (1992) e Inglese *et al.* (2004), quienes indican que la firmeza de la pulpa no debe ser menor de 6 $\text{kg}_f \text{cm}^{-2}$; pero, por otra parte, son mayores a 2.4 $\text{kg}_f \text{cm}^{-2}$, que corresponde según Cantwell (1995) a la firmeza de la pulpa en fruto maduro. Estas diferencias en cuanto a los valores de referencia, se deben al estado de madurez en que el fruto es cosechado, lo que a su vez depende del destino de la producción, ya que un fruto destinado a exportación, debe cosecharse en un estado menos avanzado de madurez, donde la firmeza debe ser mayor para poder soportar el manejo de empaque,

almacenamiento, transporte y comercialización. En cambio un fruto para consumo interno, se cosecha más maduro ya que su utilización será en un menor tiempo.

En cuanto al color (Cuadro 7), las variedades de tuna blanca, anaranjada y amarilla presentaron mayor luminosidad que las rojas y púrpuras.

Cuadro 7. Luminosidad, pureza del color y ángulo de tono, evaluados en 12 variedades de tuna.

VARIEDAD	Luminosidad (L)	Pureza del color (Croma)	Ángulo de tono (Hue)
Cristalina	44.0 bc [§]	24.2 abcd	96.8 ab
Mansa	52.0 a	28.8 ab	101.1 a
Vaquera	48.8 ab	28.8 ab	81.1 abc
Mango	46.2 abc	30.5 ab	77.9 bcd
Amarilla Montesa	41.1 c	32.1 a	59.0 d
Pico Chulo	40.2 c	31.0 ab	67.4 cd
Pabellón	31.3 de	24.0 abcd	31.2 e
Cardona	33.2 d	23.1 bcd	24.9 e
Rosa de Castilla	28.1 def	25.4 abc	25.4 e
Torreoja	25.9 efg	19.9 cd	26.5 e
Cacalote	20.7 g	18.7 cd	14.0 e
Tapón aguanoso	24.4 fg	16.2 d	30.2 e
DMSH [¶]	6.0	8.1	20.7

[¶]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [§]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($p \leq 0.05$).

No ocurrió lo mismo en la pureza del color (croma), ya que sólo se aprecia una diferencia significativa entre las tunas púrpura y amarillas, anaranjadas y blancas, con excepción de Cristalina que fue estadísticamente igual.

En el ángulo de tono (hue) se diferencian más claramente las variedades; las tunas de color púrpura y rojo son iguales, y presentan los menores valores de hue, lo que coincide con la coloración que tienen, ya que los colores rojos presentan valores de hue más bajos, en cambio las variedades cuyos frutos son anaranjados, amarillos y blancos presentan valores cercanos, e incluso superiores a 90, como lo encontrado en las variedades de fruto blanco, Mansa y Cristalina, con hue de 101.1 y 96.8, respectivamente.

En las variedades blancas, Cristalina, Mansa y Vaquera, los valores de croma y hue encontrados coinciden con los 27.6 para croma y 105.7 de hue de tuna blanca cv. Reyna (Corral-Aguayo *et al.*, 2008).

El año 2008 donde se registró mayor precipitación, generó mayor contenido de sólidos solubles totales, fenoles, capacidad antioxidante, y luminosidad. Las demás variables fueron superiores el año 2009 (Cuadro 8).

Con respecto al menor peso registrado en los frutos producidos en 2008, también podría deberse a la distribución de las precipitaciones, ya que si fueron menores durante junio y julio, que corresponde a la etapa de desarrollo del fruto, se reduce severamente su tamaño final, debido a que durante los últimos 30 días de desarrollo del fruto, se lleva a cabo el llenado del lóculo o expansión de las células del parénquima, que dan origen a la pulpa (Pimienta, 1990).

Cuadro 8. Contenido de acidez, vitamina C, sólidos solubles totales, fenoles, capacidad antioxidante, pigmentos, peso fresco y parámetros de color, evaluados en frutos de 12 variedades de tuna durante los años 2008 y 2009.

AÑO	Acidez (% de ácido cítrico)	Vitamina C (mg ác. ascórbico 100 g ⁻¹)	Sólidos solubles totales (°Brix)	Fenoles (mg ác. gálico 100 g ⁻¹)	Capacidad antioxidante (μmol eq Trolox 100g ⁻¹)	Carotenos (μg 100g ⁻¹)	Clorofila a (μg 100g ⁻¹)	Clorofila b (μg 100g ⁻¹)
2008	0.11 a [§]	41.9 b	14.06 a	14.85 a	3700.5 a	1992.8 a	162.51 b	279.1 a
2009	0.11 a	109.3 a	12.14 b	8.84 b	1466.1 b	1806.9 a	205.10 a	297.8 a
DMSH [¶]	0.01	14.4	0.38	1.25	641.8	281.5	27.60	50.6

	Clorofila total (μg 100g ⁻¹)	Antocianinas (mg cianidina 3- glucósido 100 g ⁻¹)	Betacianina (mg betanina 100 g ⁻¹)	Betaxantina (mg indicaxantina 100 g ⁻¹)	Peso fresco (g)	L	Croma	Hue
2008	441.6 a	4.68 b (74.4) ^θ	8.38 a (136.3)	5.29 b (83.3)	131.5 b	40.7 a	25.4 a	54.5 a
2009	502.9 a	8.56 a (116.9)	8.25 a (111.5)	7.06 a (95.4)	171.7 a	30.9 b	25.1 a	51.1 a
DMSH [¶]	70.9	1.27	1.27	0.81	6.5	1.5	1.9	5.0

[¶]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [§]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey (p≤0.05).

Lo anterior coincide con las lluvias registradas, ya que en julio de 2008 la precipitación fue de solamente 55 mm, a diferencia del mismo mes, pero en 2009, en que la precipitación alcanzó los 131 mm (INIFAP, 2010).

El efecto de la interacción variedad x año (Cuadros 1A, 2A, 3A y 4A), fue mayor en los genotipos de fruto púrpura (Cacalote y Tapón aguanoso), lo que se reflejó en la variación de los contenidos de vitamina C, sólidos solubles totales, clorofilas a y b, carotenos, antocianinas, betaxantinas y capacidad antioxidante, situación no detectada en tunas blancas, amarillas y rojas, que al tener bajos contenidos de la mayoría de los compuestos, sus variación por efecto ambiental fue menor.

En tunas rojas, el efecto de los años se presentó en el contenido de fenoles y clorofila a, y la concentración de fenoles más alta se presentó en 2008, mientras que la clorofila a fue menor ese mismo año, situación relacionada particularmente con la precipitación durante la etapa de desarrollo del fruto, ya que fueron menores en 2008 (160.4 mm) que en 2009 (200.8 mm) (INIFAP, 2010).

Esto puede afectar la composición físico-química de los frutos, como se ha reportado en uvas, donde el riego modificó tanto al peso de los frutos, como la concentración de sólidos solubles totales, acidez y compuestos fenólicos como antocianinas (Esteban *et al.*, 2001; De La Hera *et al.*, 2005; Ozden *et al.*, 2010).

Análisis de correlación

Se encontró una correlación positiva de clorofila a con clorofila b (0.86), y de clorofila total con el contenido de antocianinas (0.76), betacianina (0.70) y betaxantina (0.75), y éste última, también se asoció positivamente con el contenido de carotenos (0.83) (Cuadro 9).

Cuadro 9. Coeficientes de correlación entre pares de caracteres registrados en pulpa de 12 variedades de tuna con base en 100 g de peso fresco.

	AC	VC	CA	CB	CT	CR	AN	AX	FE	BC	BX	SST	L	C	H
AC	1	0.46 *	0.33 *	0.25 *	0.55 *	0.60 *	0.43 *	0.53 *	0.08	0.54 *	0.60 *	-0.33 *	-0.40 *	-0.16	-0.38 *
VC		1	0.08	0.00	0.45 *	0.49 *	0.77 *	0.07	-0.03	0.79 *	0.68 *	-0.44 *	-0.64 *	-0.18	-0.50 *
CA			1	0.86 *	0.62 *	0.41 *	0.25 *	0.62 *	0.27 *	0.19	0.33 *	-0.16	-0.19	-0.25 *	-0.10
CB				1	0.64 *	0.31 *	0.25 *	0.66 *	0.36 *	0.17	0.28 *	-0.11	-0.10	-0.33 *	-0.07
CT					1	0.69 *	0.76 *	0.65 *	0.36 *	0.70 *	0.75 *	-0.33 *	-0.41 *	-0.40 *	-0.30 *
CR						1	0.69 *	0.51 *	0.47 *	0.69 *	0.83 *	-0.24 *	-0.55 *	-0.41 *	-0.56 *
AN							1	0.41 *	0.32 *	0.91 *	0.90 *	-0.37 *	-0.66 *	-0.46 *	-0.51 *
AX								1	0.43 *	0.36 *	0.49 *	-0.03	-0.34 *	-0.49 *	-0.37 *
FE									1	0.29 *	0.39 *	0.24 *	-0.15	-0.42 *	-0.31 *
BC										1	0.93 *	-0.45 *	-0.69 *	-0.39 *	-0.57 *
BX											1	-0.35 *	-0.73 *	-0.47 *	-0.62 *
SST												1	0.25 *	0.11	-0.04
L													1	0.47 *	0.82 *
C														1	0.38 *
H															1

AC: Acidez (% de ác. cítrico), VC: Vitamina C (mg ác. ascórbico 100g⁻¹), CA: Clorofila a (µg 100g⁻¹), CB: Clorofila b (µg 100g⁻¹), CT: Clorofila total (µg 100g⁻¹), CR: Carotenos totales (µg 100g⁻¹), AN: Antocianinas (mg cianidina-3-glucósido 100 g⁻¹), AX: Capacidad antioxidante (µmol equivalentes Trolox 100g⁻¹), FE: Fenoles (mg ác. gálico 100g⁻¹), LI: Licopeno (µg 100g⁻¹), SST: Sólidos solubles totales (°Brix), L: Luminosidad, C: Cromo y H. Hue. *: significativo con $p \leq 0.05$.

Al mismo tiempo, el contenido de antocianinas se asoció positivamente con vitamina C (0.77), betacianina (0.91) y betaxantina (0.90).

La asociación entre antocianinas y betalainas se debería a que ambos pigmentos tienen al ácido shikímico como uno de sus precursores (Delgado-Vargas *et al.*, 2000).

Es importante destacar que la mayor correlación se encontró entre el contenido de betacianina y betaxantina (0.93), es decir que al haber una alta concentración de pigmento rojo (betacianina) se presenta a la vez alta concentración del pigmento amarillo (betaxantina), lo que indica que 87 % ($r^2=0.87$) de la variación de cada uno de estos pigmentos, puede ser explicada por la variación del otro (Gómez y Gómez, 1984).

No se encontró correlación entre los parámetros de color hue y croma con las variables evaluadas, a pesar de las diferencias encontradas al comparar las variedades estudiadas.

En cuanto a la correlación de la luminosidad con betaxantina, en el Cuadro 9 se observa que a mayor contenido del pigmento, hay menor L (-0.73).

Lo anterior no coincide con lo señalado por Stintzing *et al.* (2005), quienes indican que la luminosidad (L) se incrementaría con cantidades altas de betaxantinas, pero disminuiría con altos contenidos de betacianinas, a la vez que el croma tendería a aumentar con altos contenidos de betalaínas totales.

2.6 CONCLUSIONES

Los cultivares de tuna púrpura, Tapón aguanoso y Cacalote, presentaron los mayores contenidos de vitamina C, capacidad antioxidante, antocianinas, betaxantinas carotenos, clorofila total y betacianinas. Con excepción de los tres últimos, acidez y contenido de clorofila b, en los demás compuestos evaluados hubo un efecto ambiental determinado por el año de producción.

La mayor variación en el contenido de pigmentos entre años ocurrió en las tunas rojas y púrpura.

No hubo correlación entre la capacidad antioxidante y los pigmentos evaluados, pero sí entre el contenido de antocianinas y betalainas.

2.7 LITERATURA CITADA

- Anónimo. 2001. CIELAB Color manager manual. [En línea]. Disponible en http://www.linocolor.com/colorman/sp_siela_2.htm (Revisado el 25 de junio del 2009)
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1980. Official Methods of Analysis. Horwitz, W. (ed). 13th Ed. Benjamin Franklin Station, Washington DC. USA. 1018 p.
- Barbera, G. F. Carimi, P. Inglese and M. Panno. 1992. Physical, morphological and chemical changes during fruit development and ripening in three cultivars of prickly pear, *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller. Journal of Horticultural Science 67(3): 307-312.
- Burns, J., P.D. Fraser and P.M. Bramley. 2003. Identification and quantification of carotenoids, tocopherols and chlorophylls in commonly consumed fruits and vegetables. Phytochemistry 62:939-947.
- Butera, D., L. Tesoriere, F. Di Gaudio, A. Bongiorno, M. Allegra, A.M. Pintaudi, R. Kohen and M.A. Livrea. 2002. Antioxidant activities of sicilian prickly pear (*Opuntia ficus indica*) fruits extracts and reducing properties of its betalains: betanin and indicaxanthin. J. Agric. Food Chem. 50:6895-6901.
- Cantwell, M. 1995. Post-harvest management of fruits and vegetables stems. In: Agroecology, cultivation and uses of cactus pear. Barbera, G. (ed.) FAO Plant Production and Protection, Paper 132. pp: 120-141.
- Cevallos-Casals, B., and L. Cisneros-Zevallos. 2004. Stability of anthocyanin-based aqueous extracts of andean purple corn and red-fleshed sweet potato compared to synthetic and natural colorants. Food Chem. 86:69.
- Corral-Aguayo, R., E. Yahia, A. Carrillo-López, and G. González-Aguilar. 2008. Correlation between some nutritional components and the total antioxidant capacity measured with six different assays in eight horticultural crops. J. Agric. Food Chem 56:10498-10504.

- Craker, L.E. 1971. Postharvest color promotion in cranberry with ethylene. *HortScience* 6:137-139.
- De La Hera, M.L., A. Martínez-Cutillas, J.M. López-Roca and E. Gómez-Plaza. 2005. Effect of moderate irrigation on grape composition during ripening. *Spanish Journal of Agricultural Research* 3(3):352-361.
- Delgado-Vargas, F., A.R. Jiménez and O. Paredes-López. 2000. Natural pigments: carotenoids, anthocyanins and betalains characteristics, biosynthesis, processing and stability. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 40(3):173-289.
- Díaz M., E.M., E.M. Rodríguez R. and C. Díaz R. 2007. Chemical characterization of *Opuntia dillenii* and *Opuntia ficus indica* fruits. *Food Chemistry* 103:38-45.
- Esparza-Frausto, G., C. Gallegos y F. Macías. 2004. Producción forzada en nopal tunero. *In: El nopal, tópicos de actualidad*. Esparza-Frausto, G., R. Valdez-Cepeda y S. Méndez-Gallegos (eds.) Universidad Autónoma Chapingo, México. pp:109-123.
- Esteban, M.A., M.J. Villanueva and J.R. Lissarrague. 2001. Effect of irrigation on changes in the anthocyanin composition of the skin of cv Tempranillo (*Vitis vinifera* L) grape berries during ripening. *J. Sci. Agric.* 81:409-420.
- Fernández-López and L. Almela. 2001. Application of high-performance liquid chromatography to the characterization of the betalain pigments in prickly pear fruits. *J. Chromatogr. A* 913:415-420.
- Fogliano, V., V. Verde, G. Randazzo and A. Ritieni. 1999. Method for measuring antioxidant activity and its application to monitoring the antioxidant capacity of wines. *J. Agric. Food Chem.* 47:1035-1040.
- Franke, A.A., L.J. Custer, C. Arakaki and S.P. Murphy. 2004. Vitamin C and flavonoid levels of fruits and vegetables consumed in Hawaii. *Journal of Food Composition and Analysis* 17:1-35.
- Gallegos, C. y S. Méndez. 2000. La tuna: criterios y técnicas para su producción comercial. Fundación Produce, Zacatecas, México. 164 p.
- Gómez, K. and A. Gómez. 1984. Statistical procedures for agricultural research. John Wiley & Sons. Inc. USA. 680 p.
- Gómez-Romero, M., D. Arráez-Román, A. Segura Carretero y A. Fernández-Gutiérrez. 2007. Analytical determination of antioxidant in tomato: typical components of the Mediterranean diet. *J. Sep. Sci.* 30:452-461.

- Gurrieri S., L. Miceli, C.M. Lanza, F. Tomaselli, R. Bonomo, and E. Rizzarelli. 2000. Chemical characterization of sicilian prickly pear (*Opuntia ficus indica*) and perspectives for the storage of its juice. *J. Agric. Food Chem.* 48:5424-5431.
- Howard, L.R., J.R. Clark and C. Brownmiller. 2003. Antioxidant capacity and phenolic content in blueberries as affected by genotype and growing season. *J. Sci Food Agric* 83:1238-1247.
- Inglese, P., G. Gugliuzza and G. Liguori. 2004. Cactus pear fruit production: from knowledge to development. pp: 89-108. *In: El nopal, tópicos de actualidad.* Esparza-Frausto, G., R. Valdez-Cepeda y S. Méndez-Gallegos (eds.) Universidad Autónoma Chapingo, México.
- INIFAP 2010. Boletín agroclimático de Zacatecas. [En línea]. Disponible en <http://clima.inifap.gob.mx/redclima/applications/maps/dinamicmap.aspx>. (Revisado el 20 de Diciembre de 2010)
- Kuti, J. 2004. Antioxidant compounds from four *Opuntia* cactus pear fruit varieties. *Food Chem.* 85:527-533.
- Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymol.* 148:350-382.
- Little, A.C. 1975. Off on a tangent. *Journal of Food Science* 40:410-411.
- Litwack, G. 1967. *Bioquímica Experimental.* Ediciones Omega S.A. Barcelona, España. 378 p.
- Mc Guire, R. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27(12):1254-1255.
- Mondragón, J.C. y C. Gallegos V. 2010. Cultivares mexicanos de nopal tunero de importancia económica en México. pp: 25-44. *In: Manejo poscosecha de la nochtli o tuna (Opuntia spp.).* Pelayo, C., D. Castillo, S. Chatelain y G. Siade (eds.) Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- Moreno-Alvarez, M.J., D. García, D. Belén, C. Medina, y N. Muñoz. 2008. Análisis bromatológico de la tuna *Opuntia ellatior* Miller (Cactaceae). *Rev. Fac. Agron. (LUZ) (Venezuela)* 25:68-80.
- Olivares, S. 2008. Consumo de frutas y verduras en Chile. pp. 63-84. *In: Contribución de la política agraria al consumo de frutas y verduras en Chile: un compromiso con la nutrición y la salud de la población.* Olivares, S., M. Leporati, P. Villalobos y L. Barría (eds.). Ministerio de Agricultura-INTA, Chile.

- Ozden, M., H. Vardin, M. Simsek and Karaaslan. 2010. Effects of rootstocks and irrigation levels on grape quality of *Vitis vinifera* L. cv. Shiraz. African Journal of Biotechnology 9(25):3801-3807.
- Pantelidis, G.E., M. Vasilakakis, G.A. Manganaris and G. Diamantidis. 2007. Antioxidant capacity, phenol, anthocyanin and ascorbic acid contents in raspberries, red currants, gooseberries and Cornelian cherries. Food Chemistry 102:777-783.
- Pelayo, C., D. Castillo, S. Chatelain y G. Siade (eds.). 2010. Nomenclatura del fruto, índices de cosecha y aspectos de la producción que influyen en la calidad poscosecha. pp: 45-80. *In: Manejo poscosecha de la nochtli o tuna (Opuntia spp.)*. Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- Pimienta, B.E. 1990. El nopal tunero. Universidad de Guadalajara, México. 246 p.
- Pimienta, B.E. y A. Muñoz-Urías. 1999. Domesticación de nopales tuneros (*Opuntia spp*) y descripción de las principales variedades cultivadas. pp:61-81. *In: Agroecología, cultivo y usos del nopal*. Barbera, G. y E. Pimienta (eds.). Estudio FAO Producción y Protección Vegetal 133.
- Repo, R., y C. Encina. 2008. Determinación de la capacidad antioxidante y compuestos bioactivos de frutas nativas peruanas. Rev. Soc. Quím. Perú. 74(2):108-124.
- Sáenz, C. 2006. Utilización agroindustrial del nopal. Boletín del Servicio Agrícola de la FAO 162. 186 p.
- Sáenz-Hernández, C. 2004. Compuestos funcionales y alimentos derivados de *Opuntia spp*. pp: 211-222. *In: El nopal, tópicos de actualidad*. Esparza-Frausto, G., R. Valdez-Cepeda y S. Méndez-Gallegos (eds.). Universidad Autónoma Chapingo, México.
- SAS Institute. 1998. Language guide for personal computer release. 6.03 Edition. SAS Institue. Cary. N.C. USA. 1028 p.
- Sepúlveda, E., C. Sáenz, A. Peña, P. Robert, B. Bartolomé and C. Gómez-Cordovés. 2010. Influence of genotype on the anthocyanin composition, antioxidant capacity and color of Chilean pomegranate (*Punica granatum* L.) juices. Chilean J. Agric. Res. 70(1): 50-57.
- Soriano-Santos, J., M.E. Franco-Zavaleta, C. Pelayo-Zaldívar, M.A. Armella-Villalpando, M.L. Yáñez y I.G. Guerrero-Legarreta. 2007. Caracterización parcial del pigmento rojo del fruto de la jiotilla (*Escontria chiotilla* [Weber] Britton & Rose). Revista Mexicana de Ingeniería Química 6(1):19-25.
- Speisky, H. 2008. Frutas y verduras como fuentes de antioxidantes naturales. pp. 45-62. *In: Contribución de la política agraria al consumo de frutas y verduras en Chile:*

- un compromiso con la nutrición y la salud de la población. Olivares, S., M. Leporati, P. Villalobos y L. Barría (eds.). Ministerio de Agricultura-INTA, Chile.
- Stintzing, F., K. Herbach, M. Mosshammer, R. Carle, W. Yi, S. Sellappan, C. Akoh, R. Bunch, and P. Felker. 2005. Color, betalain pattern and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia* spp) clones. *J. Agric. Food Chem.* 53:442-451.
- Stintzing, F.C., A. Schieber and R. Carle. 2003. Evaluation of colour properties and chemical quality parameters of cactus juices. *Eur Food Res Technol* 216:303-311.
- Sun, J., Y-F. Chu, X. Wu and R.H. Liu. 2002. Antioxidant and antiproliferative activities of common fruits. *J. Agric. Food Chem.* 50:7449-7454.
- Tavarini, S., E. Degl'Innocenti, D. Remorini, R. Massai and L. Guidi. 2008. Antioxidant capacity, ascorbic acid, total phenols and carotenoids changes during harvest and after storage of Hayward kiwifruit. *Food Chemistry* 107:282-288.
- van der Sluis, A., M. Dekker, A. de Jager and W.M.F. Jongen. 2001. Activity and concentration of polyphenolic antioxidants in Apple: effect of cultivar, harvest year, and storage conditions. *J. Agric. Food Chem.* 49:3606-3613.
- Viloria-Matos, A., D. Corbelli-Moreno, M.J. Moreno-Alvarez y D.R. Belén. 2002. Estabilidad de betalainas en pulpa de tuna (*Opuntia boldingii* Br. Et R.) sometidas a un proceso de liofilización. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 19:324-331.

**3. CALIDAD NUTRIMENTAL Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN
VARIEDADES DE JITOMATE (*Solanum lycopersicum* L)**

3.1 RESUMEN

El jitomate (*Solanum lycopersicum* Mill.) es una de las especies hortícolas de mayor consumo en México, existe gran diversidad de tipos silvestres y muchos de ellos producen frutos de alta calidad. Entre los compuestos más importantes que definen su calidad se encuentran además de la vitamina C, los carotenoides, que se destacan por sus propiedades antioxidantes lo que que otorga un alto valor nutritivo al jitomate. Entre los carotenoides, se encuentra el licopeno al cual se atribuye la propiedad de disminuir el riesgo de cáncer de próstata, lo que permite considerar el jitomate como alimento nutracéutico. Los objetivos de la presente investigación fueron determinar los contenidos de componentes bioquímicos, físicos y capacidad antioxidante en frutos de ocho variedades de jitomate comercial y 14 genotipos nativos, estudiar relaciones entre componentes bioquímicos, especialmente con el parámetro de color hue. El estudio se llevó a cabo en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. Las variedades comerciales tuvieron contenido de vitamina C, entre 13.92 y 52.47 mg ácido ascórbico 100 g^{-1} , un contenido de licopeno entre 1391.5 y 2695.7 $\mu\text{g } 100\text{ g}^{-1}$, capacidad antioxidante entre 48.9 y 134.8 $\mu\text{mol eq Trolox } 100\text{ g}^{-1}$, un promedio de 5.23 °Brix, 0.1 mg 100 g^{-1} de antocianinas y 12.6 mg 100 g^{-1} de fenoles. Los genotipos nativos destacaron por su alto contenido de licopeno, entre 4544 y 8247 $\mu\text{g } 100\text{ g}^{-1}$, superior a las variedades comerciales, al igual que los sólidos solubles totales y fenoles, aunque presentaron menor contenido de vitamina C. Al mismo tiempo tuvieron porcentaje de pulpa superior a 60 % y vida de anaquel hasta de 16 días.

Palabras clave: ácido ascórbico, capacidad antioxidante, licopeno, antocianinas.

3.2 ABSTRACT

The tomato (*Solanum lycopersicum* L.) is one of the most consumed vegetable species, in Mexico there is great diversity of native cultivars and many of them produce high quality fruit. Among the most important compounds that establish its quality are vitamin C and carotenoids contents. The latter stand out for its antioxidant capacity and provide to the tomato a high nutritional value, which allows considering it like a nutraceutical food. Among the carotenoids there is lycopene to which is attributed the property of reducing the risk of prostate cancer. The aims of this research was to determine the contents of biochemical and physical components and antioxidant capacity in fruits of eight commercial tomato cultivars and 14 native genotypes. In this way, were studied the relationships between response variables, with hue mainly. The study was conducted in the Departamento de Fitotecnia of the Universidad Autonoma Chapingo. Commercial cultivars had a content of vitamin C, between 13.92 and 52.47 mg of ascorbic acid 100 g⁻¹, lycopene from 1391.5 to 2695.7 mg 100 g⁻¹, antioxidant capacity between 48.9 and 134.8 μmol eq Trolox 100 g⁻¹, and average of 5.23 °Brix, 0.1 mg 100 g⁻¹ of anthocyanins and 12.6 mg 100 g⁻¹ of phenols. Native genotypes had a high content of lycopene, between 4544 and 8247 μg 100 g⁻¹, higher than commercial cultivars, as well as total soluble solids and phenols, although had lower content of vitamin C. While pulp was higher than 60 % and shelf life up to 16 days.

Key words: ascorbic acid, antioxidant capacity, lycopene, anthocyanin.

3.3 INTRODUCCIÓN

El jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las especies hortícolas de mayor consumo humano, generando importantes ingresos y aportando diferentes nutrientes a la dieta (Velasco y Nieto, 2006). La existencia de una fuerte demanda para consumo fresco aumenta la competencia de las casas productoras de semillas híbridas, lo que se evidencia en una constante aparición de nuevos cultivares (Salazar, 2005; Velasco y Nieto, 2006). Ante esta competitividad existen altas exigencias tanto en la productividad como en la calidad de frutos, donde destacan la firmeza, acidez titulable, contenido de sólidos solubles totales, vitamina C y carotenoides; estos últimos sobresalen por sus propiedades antioxidantes y confieren alto valor nutritivo, considerándolo un alimento nutracéutico y funcional (Batu, 2004; Franke *et al.*, 2004; Sahlin *et al.*, 2004).

La presencia natural de antioxidantes en los alimentos no sólo cumple la función de preservar y/o retardar el daño oxidativo que afecta a lípidos y proteínas, sino también ayuda a mantener las propiedades organolépticas como sabor, color, aroma y textura, caracteres es de gran importancia ya que afectan directamente la vida útil del producto y su valor comercial (Speisky *et al.*, 2006).

Todos los carotenoides son potentes antioxidantes que protegen las células de los efectos de radicales libres. En humanos ayudan a reducir la sensibilidad de la piel contra eritema inducido por los rayos ultravioleta complementando la protección que ofrecen los protectores solares de aplicación externa (Moser, 2006). Entre los carotenoides, el licopeno que se encuentra principalmente en jitomate y sus productos derivados, al ser incluido en la dieta, se acumula en la glándula prostática, por lo tanto, se presume que a través de su papel protector disminuye el riesgo de cáncer de próstata (Newell-McGloughlin, 2008).

En México existe gran diversidad de tipos de jitomate silvestres y muchos de ellos producen frutos de mayor firmeza, alto contenido de sólidos solubles, acidez titulable, contenido de licopeno y ácido ascórbico al compararlos con híbridos comerciales (Martínez-Barajas, 2003; Juárez-López *et al.*, 2009).

Por lo anterior, el objetivo de esta investigación fue estudiar el contenido de algunos componentes bioquímicos, características físicas, fisiológicos, así como la capacidad antioxidante en frutos de jitomates comerciales y nativos, y determinar relaciones entre variables, especialmente con el parámetro de color hue.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

Los análisis se llevaron a cabo en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, México. Se evaluaron separadamente ocho variedades comerciales de jitomate de hábito indeterminado: Staccato, Tourist e Imperial (tipo bola); Tointer, Tormenta, Tónico, Bejo y BSS486 (tipo saladet) y 14 colectas nativas (Cuadro 1) de las cuales seis pertenecen al Banco de Germoplasma de la Universidad Autónoma Chapingo y las restantes al Programa de Mejoramiento Genético de la misma institución.

Los genotipos fueron cultivados en invernadero durante los meses de abril a septiembre de 2008 en el Campo Experimental de la misma Universidad, bajo un sistema hidropónico abierto en sustrato de tierra volcánica y solución de Steiner (1961). La densidad de plantación fue de 3.7 plantas m⁻², el cultivo se condujo a un solo tallo, los frutos fueron obtenidos a partir de los racimos primero a quinto, y fueron cosechados de acuerdo con las normas de la United Fresh Fruit and Vegetable Association en cooperación con U.S. Department of Agriculture (UFFVA, 1975). Para las variedades comerciales se utilizó el grado de madurez 4, cuando más del 30 y hasta 60 % de la

superficie del fruto presentó una coloración roja o rosada; y para los genotipos nativos, el grado de madurez 5, cuando más del 60 y hasta 90 % de la superficie del fruto presentó una coloración roja. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar, las repeticiones correspondieron a seis frutos por cada variedad y la unidad experimental fue un fruto.

Cuadro 1. Colectas de jitomate nativo y su origen.

Colecta	Nombre	Tipo de fruto	Procedencia/Programa
1	Arriñonado	Riñón	Ixcatlán, Hgo. 01-03-06
2	Arriñonado1	Riñón	Huautla Hgo. 11-03-06
3	Arriñonado3	Riñón	Necaxa, Pue. 05-11-05
4	Cereza 1	Cereza	Banco Germoplasma UACH
5	Cereza 2	Cereza	Banco Germoplasma UACH
6	CherriHu	Cereza	Huautla Hgo. 11-03-06
7	CherriCo	Cereza	Comitán Chiapas 01-05-06
8	CherriMd	Cereza	Martínez de la Torre 01-05-06
9	CherriTe	Cereza	Tehuatlán 01-2009
10	Cuautomate	Riñón	Xilotepec de Juárez, Pue. 31-10-05
11	Simarrona1	Cereza	Banco Germoplasma UACH
12	Simarrona2	Cereza	Banco Germoplasma UACH
13	Totonaca1	Cereza	Banco Germoplasma UACH
14	Totonaca2	Cereza	Banco Germoplasma UACH

Las variables evaluadas fueron:

Acidez titulable (AOAC, 1980)

Se homogeneizaron 10 g de pulpa con 50 mL de agua destilada. De la mezcla obtenida se tomó una alícuota de 10 mL que se tituló con Hidróxido de Sodio 0.1 N utilizando Timolftaleína como indicador hasta alcanzar un pH de 8.2. La acidez se expresó como porcentaje de ácido cítrico utilizando la fórmula:

$$\% \text{ Ác. cítrico} = \frac{\text{mL NaOH} \times N \times \text{Meq. ácido} \times V \times 100}{\text{Peso muestra} \times \text{alícuota}}$$

Donde:

N = Normalidad del NaOH

V = volumen total (mL después de moler en la licuadora)

Meq. Ácido = Miliequivalentes del ácido presente en mayor proporción (0.064 para el ácido cítrico).

Vitamina C (ácido ascórbico) por el método de Tillman (AOAC, 1980)

Se homogeneizaron 5 mL de jugo con 50 mL de una solución de ácido oxálico (0.5 %), de la cual se tomó una alícuota de 5 mL y se tituló con solución de Tillman (0.01 %) hasta que permaneció una coloración rosa visible por 1 minuto. La concentración se expresó en mg 100 g⁻¹ utilizando como estándar el ácido ascórbico.

Clorofila total y carotenos por el método de Lichtenthaler (1987)

Se tomaron 10 mL de jugo a los cuales se añadieron 10 mL de acetona a 80 %, la solución se filtró y se obtuvo la absorbancia a 663, 646 y 476 nm, utilizando acetona como blanco. Los cálculos se realizaron con las siguientes fórmulas:

$$\text{Clorofila a (C}_a\text{)} = 12.25 A_{663} - 2.79 A_{646}$$

$$\text{Clorofila b (C}_b\text{)} = 21.50 A_{646} - 5.10 A_{663}$$

Clorofila total (C_{a+b}) = $7.15 A_{663} + 18.71 A_{646}$

Carotenos = $(1000 A_{470} - 1.63 C_a - 104.96 C_b)(221^{-1})$

Antocianinas por el método establecido por Craker (1971)

Se pesan 0.5 g de tejido, se trituran en mortero con metanol-HCl a 1% para posteriormente filtrar y leer absorbancia a 525 nm. Los valores se expresaron en mg 100 g⁻¹ de cianidina-3-glucósido (antocianina predominante) utilizando la ecuación:

$$\text{Antocianinas (mg 100 g}^{-1}\text{)} = (A \times \text{PM} \times \text{FD} \times 100) \varepsilon^{-1}$$

donde, A = absorbancia a 525 nm, PM = peso molecular de la cianidina-3-glucósido (449.2), FD = factor de dilución y ε = absortividad molar para la cianidina-3-glucósido (26,900).

Capacidad antioxidante mediante el método *N,N*-dimetil-*p*-fenil-*N*-diamina dihidrocloro (DMPD) (Fogliano *et al*, 1999)

El método consistió en preparar una solución de DMPD disolviendo 209 mg en 10 mL de agua destilada, de la cual se tomó 1 mL y se agregaron 100 mL de amortiguador acetato 0.1 M (pH=5.25). En la solución obtenida se agregó 0.2 mL de cloruro férrico 0.05 M, logrando una concentración final de 0.1 mM. De esta solución se obtuvo su absorbancia a 505 nm, lo que correspondió a la señal no inhibida (A_o). La curva estándar de antioxidante se determinó agregando 0.2 mL de diferentes concentraciones de TROLOX, obtenidas a partir de una solución de TROLOX en metanol (1 mg mL⁻¹), a 2 mL de la solución DMPD oxidada (color púrpura). La mezcla se agitó 10 minutos y se midió la absorbancia a 505 nm (A_f). La absorbancia de cada muestra se expresó como porcentaje de la solución del catión radical no inhibido mediante la ecuación:

$$A_{505} (\%) = (1 - A_f/A_o) * 100$$

donde, A_o = absorbancia del catión radical no inhibido; A_f = absorbancia medida 10 minutos después de haber agregado la solución estándar de TROLOX o la muestra del extracto de jugo. La capacidad antioxidante se expresó en μmol equivalentes trolox 100 g^{-1} .

Fenoles totales por el método de Litwack (1967)

Se tomaron 2 mL de jugo de tuna a los cuales se adicionaron 0.4 mL de solución extractora compuesta por metanol, cloroformo y agua (2:1:1) y se centrifugó 15 minutos a 190 g. Se extrajo el sobrenadante, se adicionaron 10 mL de Na_2CO_3 (10 %), se incubó durante 15 minutos a 38 °C, se tomó 1 mL de la solución, se agregó 1 mL de reactivo Folin-Ciocalteu, se dejó reposar 15 min en oscuridad y se obtuvo la absorbancia a 660 nm. Los datos se expresaron en $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$, tomando como referencia una curva estándar de ácido gálico.

Licopeno

Se determinó con base a la metodología propuesta por Perkins- Veazie *et al.* (2001) y Fish *et al.* (2002) con algunas modificaciones. Para ello se trituraron 0.5 g de pulpa, los cuales se mezclaron con 50 mL de una solución hexano:acetona:etanol (2:1:1) agitando durante 10 minutos. Luego se agregaron 7.5 mL de agua destilada y se agitó por 5 minutos hasta la separación de la capa de hexano de la cual se tomó una alícuota de 3 mL a la cual se midió su absorbancia en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 503 nm. El contenido de licopeno se determinó mediante la fórmula

$$\text{Licopeno } (\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}) = \frac{A_{503\text{nm}} \times 31.2}{g \text{ pulpa}}$$

Sólidos solubles totales

Se determinaron en el jugo del fruto mediante un refractómetro digital marca ATAGO modelo PAL-1 con escala de 0 a 53 %, y se expresaron como °Brix.

Peso fresco

Se pesó el fruto completo con balanza electrónica marca Ohaus® modelo Scout Pro SP2001, una vez que fue trasladado al laboratorio.

Índice de redondez (diámetro polar/diámetro ecuatorial)

El índice de redondez define la forma del fruto, corresponde a la relación entre longitud y diámetro máximo. Se determinó con un vernier digital marca GENERAL®, para lo cual se midió diámetro polar (dp) y diámetro ecuatorial (de) de cada fruto, y posteriormente se calculó la relación [(diámetro polar)/(diámetro ecuatorial)].

Firmeza del fruto

Se midió en la zona ecuatorial de los frutos sin piel, utilizando un texturómetro digital compact Gauge (Mecmesin®, EE.UU.) con puntal en forma de cono con diámetro y altura de 9 mm, registrándose la lectura en Newtons (N) de la fuerza aplicada hasta la penetración del puntal.

Color del fruto

Se determinó sobre la epidermis del fruto mediante un colorímetro manual ColorTec-PMC, el cual mediante un sistema triestímulo permite obtener las dimensiones L, a y b. El parámetro L mide directamente la luminosidad o brillantez y varía de 0, que representa color totalmente oscuro, hasta 100 que corresponde al máxima brillo. El valor “a” representa al color rojo si es positivo y al verde si es negativo, y el parámetro “b” corresponde al amarillo si es positivo y al azul si es negativo. A partir de los valores

a y b se obtiene $\text{Croma} = \sqrt{a^2 + b^2}$, que mide la intensidad del color reportando los datos con base en el índice de saturación y $\text{Hue} = \tan^{-1} \left(\frac{b}{a} \right)$, que corresponde al ángulo de tono (Little, 1975; Mc Guire, 1992; Anónimo, 2001).

Porcentaje de pulpa

Se determinó con respecto al peso total del fruto, en los genotipos silvestres.

$(\text{Peso total de fruto} - \text{Peso de semillas}) / (\text{Peso total de fruto}) * 100$

Vida de anaquel

Se evaluó únicamente en los genotipos silvestres, los cuales fueron cosechados de acuerdo a la clasificación establecida por el Departamento de Agricultura de EE.UU. (UFFVA, 1975), en el grado de madurez 4, cuando más del 30 y hasta 60 por ciento de la superficie del fruto presenta una coloración roja o rosada. Los frutos fueron almacenados a temperatura ambiente ($20^{\circ}\text{C} \pm 1$) en laboratorio y se determinó la duración (días) de los frutos en condiciones de firmeza y apariencia adecuada para la comercialización.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos de jitomates comerciales y nativos fueron sometidos a análisis de varianza independientes, a una prueba de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0.05$). Posteriormente se obtuvieron las correlaciones lineales entre pares de variables, incluyendo los datos de color, y considerando como criterio que por lo menos 50 % ($r^2 = 0.5$) de la variación de una variable esté explicada por otra. Esto último, ya que en la comercialización del jitomate, el color es un factor determinante para su aceptación, y la estrecha relación que existe entre la evolución de los pigmentos y el estado de madurez de los frutos, permite una fácil diferenciación en base a los cambios de color

(Chamarro, 1995). Para todos los análisis se utilizó el programa estadístico SAS V 8.0 (1998).

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza de variedades comerciales

El análisis de varianza (Cuadro 2) mostró que las variedades modificaron las variables evaluadas en forma significativa ($p \leq 0.05$), con excepción de la acidez, contenido de licopeno y sólidos solubles totales.

Cuadro 2. Cuadrados medios y significancia estadística de las variables evaluadas en frutos de ocho variedades comerciales de jitomate.

FV	AC	VC	CA	CB	CT	CR
Variedad	0.02	656.6 *	1818.9 *	13476.5 *	21787.0 *	2884.7 *
Error	0.01	175.2	593.9	1170.1	3135.5	518.4
CV (%) [†]	18.37	47.7	41.7	14.2	19.9	56.9
Media	0.62	27.7	58.4	241.3	281.5	40.1
	AN	AX	FE	LI	SST	PF
Variedad	0.0 *	2555.4 *	30.19 *	673009.8	0.46	10511.9 *
Error	0.0	532.1	8.22	875277.1	0.24	1029.8
CV (%) [†]	13.6	24.3	22.82	43.5	9.39	25.9
Media	0.1	94.9	12.56	2151.4	5.23	123.9
	IR	FI	L	C	H	
Variedad	0.43 *	15.14 *	8.09 *	54.79 *	135.9 *	
Error	0.00	6.25	1.29	5.65	18.9	
CV (%) [†]	3.69	21.86	3.41	6.90	7.4	
Media	1.14	11.44	33.35	34.46	58.7	

FV: fuente de variación, AC: Acidez, VC: Vitamina C, CA: clorofila a, CB: clorofila b, CT: clorofila total, CR: carotenos, AN: antocianinas, AX: Capacidad antioxidante, FE: Fenoles, LI: Licopeno, SST: Sólidos solubles totales, PF: peso fresco, IR: índice de redondez, FI: firmeza, L: Luminosidad, C: Cromo y H: Hue. [†]CV: coeficiente de variación. *: significativo con $p \leq 0.05$.

Todas las variedades presentaron igual contenido de acidez, entre 0.53 y 0.71 % de ácido cítrico (Cuadro 3), superior al intervalo, entre 0.20 y 0.27 %, reportado por Madhavi y Salunkhe (1998) para jitomate cosechado en igual estado de madurez, y similar al 0.60 y 1.50 % de ácido cítrico de jitomates comerciales de las variedades Marimba, Sofía y Bravona, cultivados en Colombia (Casierra-Posada y Aguilar-Avenidaño, 2008).

Cuadro 3. Contenido de acidez, vitamina C, clorofila a, clorofila b y clorofila total de ocho variedades de jitomate comercial.

VARIEDAD	Acidez (% de ác. cítrico)	Vitamina C (mg ác. ascórbico 100g ⁻¹)	Clorofila a (µg 100g ⁻¹)	Clorofila b (µg 100g ⁻¹)
Stacatto	0.60 a [§]	29.5 ab	90.4 a	346.3 a
Tointer	0.59 a	21.7 ab	79.8 ab	280.8 ab
Tormenta	0.69 a	20.6 b	65.0 ab	263.2 bc
Tourist	0.53 a	40.8 ab	63.8 ab	263.8 bc
BSS486	0.68 a	23.0 ab	40.2 ab	175.8 d
Bejo	0.71 a	13.9 b	34.3 ab	191.1 cd
Tonico	0.68 a	19.7 b	61.4 ab	188.5 cd
Imperial	0.53 a	52.4 a	31.9 b	220.6 bcd
DMSH [¶]	0.27	31.0	57.0	80.1

[¶]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [§]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey (p≤0.05).

Estas diferencias en el contenido de ácido cítrico, respecto a otras investigaciones, se pueden deber al sistema de cultivo, ya que se han observado variaciones en niveles de acidez de 0.29 a 0.38 % en jitomates cultivados en sistema hidropónico, 0.30 a 0.38 % en producción orgánica, y 0.31 a 0.44 % en jitomates producidos en sistema intensivo

(Hernández *et al.*, 2008). Los contenidos de ácido cítrico encontrados en las variedades bajo estudio son mayores a los tres sistemas reportados; sin embargo, como las variedades comerciales estudiadas no se consumen directamente en fresco, sino que son utilizados en diversas preparaciones alimenticias, la acidez no sería un factor importante ya que en combinación con otros ingredientes el sabor se puede modificar según las preferencias de los consumidores.

Con respecto al contenido de vitamina C (Cuadro 3), la variedad Imperial, de jitomate bola, tuvo una concentración de 52.4 mg de ácido ascórbico 100 g⁻¹, significativamente más alta que las variedades Bejo, Tormenta y Tónico, de tipo saladet; sin embargo, todas las variedades bajo estudio presentaron valores superiores a los encontrados por Hernández *et al.* (2008) en tres sistemas de cultivo, los cuales fluctuaron entre 13 y 17 mg de ác. ascórbico 100 g⁻¹.

El mayor contenido de vitamina C, de la variedad Imperial, fue superior al máximo observado por Madhavi y Salunkhe (1998), Franke *et al.* (2004) y Rousseaux *et al.* (2005), quienes reportaron entre 10 y 33 mg 100 g⁻¹; sin embargo, los mayores contenidos de ácido ascórbico observados en el presente estudio, fueron similares a los encontrados por distintos autores en frutos considerados excelentes fuentes de vitamina C, como naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck), frambuesa (*Rubus idaeus* L.) y kiwi (*Actinidia chinensis* Planch.), que presentan entre 37 y 50 mg 100 g⁻¹ (Sun *et al.*, 2002; Franke *et al.*, 2004 y Tavarini *et al.*, 2008). Esto es de gran importancia ya que permite considerar las variedades evaluadas dentro del grupo de alimentos funcionales.

En cuanto al contenido de clorofilas (Cuadro 3), todas las variedades tuvieron baja concentración, similar a lo encontrado por Burns *et al.* (2003) en diferentes especies incluido jitomate, el cual presentó valores por debajo del límite de detección tanto de

clorofila a como clorofila b. Esto también coincide con lo reportado por Polder *et al.* (2004) también en jitomate; sin embargo, en esa investigación, se encontró una concentración de clorofila b de $485 \mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$, superior al máximo encontrado en este estudio en la variedad Staccato que fue de $346.3 \mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$.

Al igual que las clorofilas, el contenido de carotenos (Cuadro 4) fue menor al de otras hortalizas como zanahoria (*Daucus carota* L.), en las cuales, incluso las variedades de color blanco presentan contenidos de carotenos totales mayor que $17.6 \mu\text{g } \text{g}^{-1}$ de peso seco (Sun *et al.*, 2009); sin embargo, como el principal caroteno presente en el jitomate es el licopeno, es de mayor importancia la determinación de este compuesto.

Con respecto al contenido de antocianinas, se puede observar en el mismo Cuadro 3, que los jitomates, tuvieron muy baja concentración, ya que no superan los 0.15 mg de cianidina-3-glucósido 100 g^{-1} , en comparación con frutos como los berries (frutillas) que presentan alta concentración de antocianinas, superior a 100 mg de cianidina-3-glucósido 100 g^{-1} (Pantelidis *et al.*, 2007), lo que confirma que las antocianinas no cumplen un papel importante en la coloración del fruto de jitomate, sino que el pigmento responsable de su color rojo, es el licopeno (Long *et al.*, 2006).

Con respecto a la capacidad antioxidante (Cuadro 4), las variedades Imperial, Bejo y Tónico con 110.8 , 111.8 y $134.8 \mu\text{mol eq Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente, superaron a la variedad Tormenta con $48.9 \mu\text{mol eq Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$, pero fueron menores a los valores encontrados por Rouseaux *et al.* (2005), también en jitomate comercial, quienes reportan entre 136 y $156 \mu\text{mol eq Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$.

Por otra parte, los valores obtenidos en las variedades estudiadas, coinciden con una clasificación elaborada por Pennington y Fisher (2009), donde señalan que el jitomate presenta una capacidad antioxidante menor a $500 \mu\text{mol eq Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$, al igual que

calabacita (*Cucurbita pepo* L.), calabaza amarilla (*Cucurbita máxima* Duchesne), melón (*Cucumis melo* L.), sandía (*Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum & Nakai) y uva blanca (*Vitis vinífera* L.) entre otras frutas y hortalizas.

Cuadro 4. Contenido de carotenos, antocianinas, capacidad antioxidante, fenoles y licopeno de ocho variedades de jitomate comercial.

VARIEDAD	Clorofila total ($\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$)	Carotenos Totales ($\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$)	Antocianinas (mg cianidina-3- glucósido 100 g^{-1})	Capacidad antioxidante ($\mu\text{mol eq Trolox}$ 100g^{-1})
Stacatto	412.2 a [§]	37.30 abc	0.13 ab	86.6 ab
Tointer	342.2 ab	44.58 abc	0.13 ab	83.5 ab
Tormenta	308.8 abc	61.73 ab	0.13 ab	48.9 b
Tourist	307.9 abc	9.68 bc	0.14 a	94.1 ab
BSS486	202.3 c	48.30 abc	0.15 a	88.9 ab
Bejo	208.3 c	34.88 abc	0.13 ab	111.8 a
Tonico	239.4 bc	83.97 a	0.11 ab	134.8 a
Imperial	231.1 bc	10.00 bc	0.10 b	110.8 a
DSMH [¶]	131.1	53.32	0.04	54.0

[¶]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [§]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($p \leq 0.05$).

Al mismo tiempo, los niveles encontrados son comparables a los encontrados por Pellegrini *et al.* (2003) en otras especies hortícolas como pepino (*Cucumis sativus* L.), hinojo (*Foeniculum vulgare* Mill.), zanahoria, papa (*Solanum tuberosum* L.), berenjena (*Solanum melongena* L.), coliflor (*Brassica oleracea* L. convar. botrytis (L.) Alef. var.

botrytis), calabaza y lechuga (*Lactuca sativa* L.), cuyos valores de capacidad antioxidante fluctúan entre 43 y 133 $\mu\text{mol eq Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$.

La variedad Tónico tuvo una capacidad antioxidante de 134.8 $\mu\text{mol eq Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$, superior a los niveles presentes en durazno (*Prunus persica* (L.) Batsch.), damasco (*Prunus armeniaca* L.) y manzana (*Malus pumila* Mill var. *domestica*), que alcanzaron 122, 139 y 160 $\mu\text{mol eq Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente (Scalzo *et al.*, 2005).

De acuerdo con estos resultados, los jitomates estudiados tendrían una baja capacidad antioxidante, lo que no los hace recomendables como productos hortícolas con alta actividad antioxidante, sobre al compararse con especies del género *Vaccinium* (arándano) y *Rubus* (mora híbrida) consideradas de gran importancia por su alta capacidad antioxidante que va desde los 1800 $\mu\text{mol eq Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$, superando incluso los 13000 $\mu\text{mol eq Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$ (Moyer *et al.*, 2002).

En cuanto al contenido de fenoles (Cuadro 5), todas las variedades estudiadas presentaron baja concentración, al compararlas con otros jitomates comerciales, cuyos valores alcanzaron una concentración de 261.5 mg de ácido gálico 100 g^{-1} (Rousseaux *et al.*, 2005).

Así mismo, también fueron bajos en comparación con otras especies como pitaya (*Stenocereus stellatus* Riccobonno), que presentó una concentración de fenoles entre 1384 y 2395 mg de ácido gálico 100 g^{-1} de materia seca (Beltrán-Orozco *et al.*, 2009), uva y frambuesa, donde Sun *et al.* (2002) encontraron 50 y 525 mg 100 g^{-1} , respectivamente.

Se puede observar que la variedad Imperial, a pesar de tener junto a Bejo y Tónico, la mayor capacidad antioxidante (Cuadro 4), tuvo el menor contenido de fenoles (8.14 mg ácido gálico 100 g^{-1}); sin embargo, de acuerdo a lo señalado por Corral-Aguayo *et al.* (2008), la actividad antioxidante se debería principalmente tanto al contenido de

fenoles como de vitamina C y esta última sí fue significativamente superior en la variedad Imperial (Cuadro 3).

Cuadro 5. Contenido de fenoles, licopeno, sólidos solubles totales y peso fresco de ocho variedades de jitomate comercial.

VARIEDAD	Fenoles (mg ác. gálico 100 g ⁻¹)	Licopeno (µg 100g ⁻¹)	Sólidos solubles totales (°Brix)	Peso fresco (g)
Stacatto	9.94 ab [§]	2338.4 a	5.30 a	123.8 b
Tointer	11.05 ab	1998.4 a	5.78 a	105.2 b
Tormenta	13.78 ab	2424.2 a	5.09 a	98.5 b
Tourist	15.32 a	2695.7 a	5.57 a	121.1 b
BSS486	12.27 ab	2318.2 a	5.38 a	107.1 b
Bejo	13.77 ab	2257.3 a	4.74 a	89.7 b
Tonico	16.23 a	1787.8 a	4.96 a	98.8 b
Imperial	8.14 b	1391.5 a	5.04 a	247.6 a
DMSH [¶]	6.71	2191.0	1.15	75.2

[¶]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [§]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey (p≤0.05).

En el Cuadro 5 se puede observar concentraciones de licopeno entre 1391.5 y 2695.7 µg 100 g⁻¹, sin haber diferencia estadística entre variedades. Estos contenidos fueron inferiores a los 3000 a 4000 µg de licopeno 100 g⁻¹, encontrados en jitomate cv Clermon producidos en sistema hidropónico (Hwang, 2005; Javanmardi and Kubota, 2009). En variedades comerciales de sandía producidas en Estados Unidos, se han encontrado altos contenidos de este pigmento, entre 3650 y 7120 µg 100 g⁻¹ (Perkins-Veazie *et al.*, 2001; Fish *et al.*, 2002).

Cuando el jitomate se consume en fresco, se prefieren en general los frutos de tamaño medio a grande con buen sabor y color (Chamarro, 1995), y el sabor está determinado principalmente por la concentración de ácidos orgánicos y el grado de acidez, por lo cual es de gran importancia medir no solamente la acidez del fruto, sino también el contenido de sólidos solubles totales. En cuanto a esta última variable, no se encontraron diferencias entre las variedades estudiadas, las cuales presentaron entre 4.8 y 5.8 °Brix (Cuadro 5), valores similares a los reportados en jitomate por diferentes autores, quienes encontraron en variedades comerciales cultivadas en sistema convencional, orgánico e hidropónico, un contenido de sólidos solubles totales entre 4.3 y 5.9 ° Brix (Rousseaux *et al.*, 2005; Javanmardi y Kubota, 2006; Barrett *et al.*, 2007).

Las variedades evaluadas tuvieron mayor concentración de sólidos solubles totales en comparación a tres híbridos de jitomate cultivados en Colombia, que fueron cosechados en diferentes grados de madurez, y cuyos sólidos solubles alcanzaron 5.0 °Brix, y también fueron superiores a 4.4 ° Brix de jitomates cultivados en sistema hidropónico (Casierra-Posada y Aguilar-Avenidaño, 2008; Hernández y Rodríguez, 2008).

Este parámetro de calidad está directamente relacionado con el grado de madurez e influye en el sabor del fruto; sin embargo, es de mayor importancia en el jitomate para procesado que en el de consumo fresco.

En el Cuadro 5 también se presenta el peso fresco de los frutos; destaca la variedad Imperial por su mayor peso fresco (247.6 g), que es una característica de la variedad; sin embargo, no es solamente el peso lo que caracteriza una variedad, sino también la uniformidad en tamaño, forma, firmeza y color, son de gran importancia en función de las exigencias del mercado al que se va a destinar el producto (Chamarro, 1995).

El índice de redondez al igual que el peso del fruto, son característicos de la variedad, y en el Cuadro 6 se puede apreciar que las variedades Imperial, Stacatto y Tourist, presentan los menores índices de redondez. Esto corresponde con la forma del fruto que es del tipo bola, y se caracteriza por tener un mayor diámetro ecuatorial que polar, a diferencia del resto de las variedades que tienen frutos tipo saladet.

Cuadro 6. Índice de redondez, firmeza, luminosidad, intensidad del color y ángulo de tono de ocho variedades de jitomate comercial.

VARIEDAD	Índice de redondez (dp. de. ⁻¹)	Firmeza (N)	Luminosidad (L)	Intensidad del color (Croma)	Angulo de tono (Hue)
Stacatto	0.82 d [§]	7.8 b	33.7 abc	31.8 bc	55.3 bc
Tointer	1.29 b	11.6 ab	34.5 ab	36.0 ab	63.2 ab
Tormenta	1.55 a	12.6 ab	31.3 c	34.3 b	56.9 bc
Tourist	0.80 d	10.2 ab	35.3 a	33.8 b	60.3 abc
BSS486	1.09 c	13.3 ab	31.8 bc	37.0 ab	51.3 c
Bejo	1.33 b	11.0 ab	33.8 abc	34.1 b	59.2 bc
Tonico	1.53 a	10.8 ab	32.1 bc	40.5 a	53.6 bc
Imperial	0.74 d	13.9 a	34.0 ab	27.9 c	69.6 a
DMSH [¶]	0.10	5.8	2.6	5.5	10.1

[¶]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [§]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($p \leq 0.05$).

En cuanto a la firmeza, destaca la variedad Imperial con el mayor valor, la cual difiere estadísticamente de Stacatto, a igual grado de madurez (grado 4 según UFFVA). Esto podría ser una ventaja del híbrido Imperial respecto a Stacatto durante el manejo

postcosecha del fruto, ya que al ser más firme, es menos susceptible a sufrir daño durante su manipulación y transporte, lo que favorecería la calidad requerida para su comercialización (Batu, 2004).

En cuanto al color (Cuadro 8), la mayor diferencia se encontró en la intensidad del color (Croma), donde la variedad Tónico presentó una mayor intensidad del color rojo, con un índice de saturación de 40.5, estadísticamente diferente a Tormenta, Bejo, Tourist, Stacatto e Imperial.

En el ángulo de tono (Hue), los valores fluctuaron entre 51.3 y 69.6, menores a 90°, lo que significa que el color de los frutos fue rojo en todas las variedades, siendo más cercano al amarillo, que corresponde a 90 °, la variedad Imperial, cuyos frutos presentaron un valor para hue de 69.6. Con respecto a la luminosidad del color de los frutos presentaron un L entre 31.3 y 35.3, lo que indicaría que todos los frutos son homogéneos en este parámetro.

Las diferencias encontradas en los tres parámetros de color, podrían atribuirse al estado de madurez en que fueron cortados los frutos, ya que a pesar de que la cosecha se llevó a cabo utilizando como referencia una tabla de grados de madurez de acuerdo al color (UFFVA, 1975), podría haber algunas diferencias perceptibles por el colorímetro, pero no visualmente.

Es importante destacar que el jitomate al ser climatérico, a medida que avanza su madurez, se intensifica la coloración roja del fruto debido a la degradación de la clorofila, junto a un aumento en la concentración de carotenoides, principalmente licopeno, al mismo tiempo que ocurre una disminución de los ácidos orgánicos los cuales son utilizados como sustrato de respiración o transformados en azúcares, disminuye la acidez titulable y se produce una pérdida de la firmeza del fruto (Wills *et al.*, 2007).

Análisis de correlación

El ángulo de tono hue, que representa al color propiamente tal, y los compuestos evaluados tuvieron débil asociación lineal, a pesar de ser significativa ($p \leq 0.05$) en varias de ellas.

Esto porque los coeficiente de correlación más altos fueron -0.50, entre hue y el contenido de antocianinas y 0.50 entre hue y contenido de vitamina C (Cuadro 7), lo que quiere decir que en ambos casos, solamente 25 % ($r^2=0.25$) de la variación del contenido de vitamina C y antocianinas, puede ser explicado por el valor de hue (Gómez y Gómez, 1984).

Por lo tanto, considerando como criterio que por lo menos 50 % ($r^2=0.5$) de la variación de una variable esté explicado por otra; las únicas variables que se correlacionaron entre sí fueron las clorofilas que presentaron coeficientes de correlación superiores a 0.70, lo que a su vez, indicaría que la clorofila total estaría determinada principalmente por estos dos tipos de clorofila.

En el resto de las variables evaluadas no se detectaron asociaciones de tipo lineal, por lo tanto no existe una relación entre el color del fruto y el contenido de los compuestos, ni la capacidad antioxidante.

Cuadro 7. Coeficientes de correlación entre pares de caracteres registrados en frutos de ocho variedades comerciales de jitomate con base en 100 g de peso fresco.

	AC	VC	CA	CB	CT	CR	AN	AX	FE	LI	SST	L	C	H
AC	1	-0.54 *	-0.12	-0.11	-0.12	0.32	0.21	-0.01	0.29	0.34	0.05	-0.41	0.57*	-0.45 *
VC		1	-0.10	0.04	-0.01	-0.37*	-0.27	0.18	-0.25	-0.32	-0.02	0.47*	-0.56 *	0.50*
CA			1	0.77*	0.91*	0.25	0.08	-0.32	-0.04	0.16	0.31	0.06	0.12	-0.17
CB				1	0.96*	-0.14	-0.10	-0.43 *	-0.23	0.18	0.34	0.20	-0.21	0.06
CT					1	0.01	-0.03	-0.41 *	-0.17	0.18	0.35	0.15	-0.08	-0.03
CR						1	0.39*	0.04	0.29	0.00	-0.22	-0.52 *	0.52 *	-0.48 *
AN							1	-0.22	0.38*	0.07	-0.12	-0.28	0.40*	-0.50*
AX								1	-0.10	-0.35*	-0.22	0.18	0.12	0.03
FE									1	0.38*	-0.06	-0.17	0.53 *	-0.45 *
LI										1	0.12	-0.16	0.26	-0.46*
SST											1	0.34	0.26	0.13
L												1	-0.33	0.55*
C													1	-0.63 *
H														1

AC: Acidez (% de ác. cítrico), VC: Vitamina C (mg ác. ascórbico 100g⁻¹), CA: Clorofila a (µg 100g⁻¹), CB: Clorofila b (µg 100g⁻¹), CT: Clorofila total (µg 100g⁻¹), CR: Carotenos totales (µg 100g⁻¹), AN: Antocianinas (mg cianidina-3-glucósido 100 g⁻¹), AX: Capacidad antioxidante (µmol equivalentes Trolox 100g⁻¹), FE: Fenoles (mg ác. gálico 100g⁻¹), LI: Licopeno (µg 100g⁻¹), SST: Sólidos solubles totales (°Brix), L: Luminosidad C: Cromo (Pureza del color) H: Hue (ángulo de tono). *: significativo con $p \leq 0.05$.

Análisis de varianza de genotipos nativos

El análisis de varianza de caracteres evaluados en los jitomates nativos (Cuadro 8) mostró que todos los genotipos modificaron las variables ($p \leq 0.05$), con excepción del contenido de fenoles, vida de anaquel y luminosidad.

Cuadro 8. Cuadrados medios y significancia estadística de las variables evaluadas en 14 genotipos de jitomate nativo.

FV	AC	VC	AX	FE	LI	SST	PF
Genotipo	0.079 *	45.8 *	6140.95 *	61.56	4284548	3.06 *	442.55 *
Error	0.022	19.12	725.11	77.29	2998031	1.02	29.5
CV %	17.18	23.95	27.68	89.68	30.4	14.25	35.94
Media	0.86	18.26	97.3	9.8	5695.24	7.07	15.11

	IR	FI	PU	VA	L	C	H
Genotipo	0.065 *	0.56 *	362.68 *	16.78	17.01	50.12 *	157.61
Error	0.004	0.17	62.68	14.52	8.2	7.42	47.62
CV %	8.55	28.65	9.92	26.21	9.27	9.43	16.71
Media	0.75	1.45	79.82	14.54	30.9	28.89	41.3

FV: fuente de variación, AC: Acidez, VC: Vitamina C, AX: Capacidad antioxidante, FE: Fenoles, LI: Licopeno, SST: Sólidos solubles totales, PF: peso fresco, IR: índice de redondez, FI: firmeza, PU: porcentaje de pulpa, VA: vida de anaquel, L: Luminosidad, C: Cromo y H: Hue. †CV: coeficiente de variación. *: significativo con $p \leq 0.05$.

En el Cuadro 9 se puede observar que los genotipos Arriñonado 1, Cereza 1 y Cheri Hu tuvieron los mayores contenidos de acidez, entre 1.05 y 1.09 % de ácido cítrico, a pesar de tener diferente tipo de fruto, y fueron estadísticamente superiores a Cheri Co

(cereza) que presentó 0.53 %, mientras que los demás genotipos presentaron entre 0.71 y 0.96 %.

Cuadro 9. Contenido de acidez, vitamina C, capacidad antioxidante y fenoles, evaluados en 14 genotipos de jitomate nativo.

GENOTIPO	Acidez (% de ác. cítrico)	Vitamina C (mg ác. ascórbico 100 g ⁻¹)	Capacidad antioxidante (μmol eq Trolox 100g ⁻¹)	Fenoles (mg ác. gálico 100g ⁻¹)
Arriñonado	0.80 ab [§]	18.16 ab	145.2 ab	8.66 a
Arriñonado 1	1.05 a	26.62 a	65.2 bcde	12.45 a
Arriñonado 3	0.76 ab	24.32 ab	87.6 a-e	8.25 a
Cereza 1	1.09 a	15.71 ab	19.4 e	5.90 a
Cereza 2	0.76 ab	12.79 b	124.6 abc	10.19 a
Cherri Co	0.53 b	21.40 ab	57.3 cde	7.34 a
Cherri Hu	1.09 a	16.78 ab	67.2 bcde	5.32 a
Cherri Md	0.94 ab	20.16 ab	39.7 de	7.14 a
Cherri Te	0.96 ab	14.78 ab	99.9 abcd	7.23 a
Cuautomate	0.72 ab	17.86 ab	103.2 abcd	14.71 a
Simarrona 1	0.71 ab	18.47 ab	160.2 a	21.60 a
Simarrona 2	0.78 ab	19.70 ab	154.1 a	7.34 a
Totonaca 1	0.90 ab	14.48 ab	84.5 a-e	6.66 a
Totonaca 2	0.89 ab	21.09 ab	153.5 a	14.45 a
DMSH [¶]	0.44	13.07	80.4	26.28

[¶]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [§]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($p \leq 0.05$).

Los niveles de acidez encontrados, fueron superiores a 0.2 % señalado como referencia por Chamarro (1995), y a los niveles encontrados en Italia, por Pulvento *et al.* (2008) en dos cultivares de jitomates tipo cereza, los cuales presentaron entre 0.50 y 0.71 % de ácido cítrico, pero al mismo tiempo son similares a los contenidos reportados por

Juárez-López *et al.* (2009), en genotipos nativos de jitomate de México, los que presentaron una acidez entre 0.50 y 1.01 % de ácido cítrico. Esto podría ser una desventaja debido a que los jitomates del tipo cereza se consumen principalmente en fresco, como adorno de algunas preparaciones, por lo que una alta acidez, sería una característica que puede afectar el sabor del fruto.

Con respecto al contenido de vitamina C (Cuadro 9), se puede apreciar que Arriñonado 1 presentó la mayor concentración (26.62 mg de ácido ascórbico 100 g⁻¹), pero solamente fue superior al genotipo Cereza 2, que presentó una concentración de 12.79 mg de ác. ascórbico 100 g⁻¹. Los demás genotipos fueron estadísticamente iguales, presentando contenidos entre 14.48 y 24.32 mg de ác. ascórbico 100 g⁻¹.

Al comparar los valores encontrados en los genotipos bajo estudio, con los de otras investigaciones, fueron similares a los reportados por Madhavi y Salunkhe (1998) (entre 14.5 y 23 mg ác. ascórbico 100 g⁻¹); superiores a 10.1 mg ác. ascórbico 100 g⁻¹, encontrado por Franke *et al.* (2004), pero menores a los contenidos de vitamina C señalados por Juárez-López *et al.* (2009) para genotipos silvestres que tuvieron entre entre 37 y 65 mg ác. ascórbico 100 g⁻¹. Estas diferencias pueden deberse, al igual que en las variedades comerciales, al sistema de cultivo, ya que como lo señala Hernández *et al.* (2008), la concentración puede variar de 13 a 17 mg ác. ascórbico 100 g⁻¹, dependiendo si se cultiva en sistema hidropónico, orgánico o intensivo.

En cuanto a la capacidad antioxidante, se encontraron valores entre 19.4 y 16.2 $\mu\text{mol eq Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$, presentando los mayores niveles Simarrona 1, Simarrona 2 y Totonaca 2, los que fueron estadísticamente superiores a Arriñonado 1, Cereza 1, Cherri Co, Cherri Hu y Cherri Md; sin embargo, no se apreció un comportamiento diferenciado por tipo de fruto.

Los valores encontrados fueron menores a los reportados para jitomates comerciales (136 y 156 $\mu\text{mol eq Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$) por Rousseaux *et al.* (2005), pero superiores a los de algunas hortalizas como pepino (*Cucumis sativus* L.), hinojo (*Foeniculum vulgare* Mill.), zanahoria (*Daucus carota* L.) y papa (*Solanum tuberosum* L.), que tienen entre 43 y 80 $\mu\text{mol eq Trolox } 100\text{g}^{-1}$ (Pellegrini *et al.*, 2003).

Todos los genotipos presentaron baja concentración de fenoles (Cuadro 9) al compararlos con los 372.5 mg 100 g^{-1} , encontrados por Rousseaux *et al.* (2005) en jitomate cereza.

Los valores encontrados en los genotipos estudiados, también fueron bajos al compararlos con otras especies como uva (*Vitis vinifera* L.), frambuesa (*Rubus idaeus* L.) y pitaya (*Stenocereus stellatus* Riccobono) que presentaron contenidos de fenoles entre 50 y 1300 mg 100 g^{-1} (Sun *et al.*, 2002; Beltrán-Orozco *et al.*, 2009).

El contenido de licopeno (Cuadro 10) no varió en los genotipos estudiados, y fluctuó entre 4409 a 8247 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$. Estas concentraciones fueron similares a otros genotipos nativos con variación entre 3340 y 5190 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ las encontradas (Juárez-López *et al.*, 2009); sin embargo, cabe destacar que más de 50 % de los genotipos estudiados tuvieron contenidos mayores a 5190 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$, valor máximo encontrado en otros estudios tanto en jitomate comercial como silvestre (Javanmardi and Kubota, 2006 y Juárez-López *et al.*, 2009).

Todos los genotipos nativos bajo estudio presentaron contenidos de licopeno superiores a los de variedades comerciales cultivados en hidroponía con 3000 a 4000 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ (Hwang, 2005; Javanmardi y Kubota, 2009).

El contenido de sólidos solubles totales (Cuadro 10) que fluctuó entre 5.58 y 9.13 ° Brix, fue similar en la mayoría de los genotipos, y solamente existió diferencia

estadística entre Arriñonado que presentó 9.13 ° Brix y Cereza 2 (5.58 ° Brix) y Simarrona 2 (5.83 ° Brix).

Cuadro 10. Contenido de licopeno, sólidos solubles totales y peso fresco, evaluados en 14 genotipos de jitomate nativo.

GENOTIPO	Licopeno ($\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$)	Sólidos solubles totales (°Brix)	Peso fresco (g)
Arriñonado	4949 a [§]	9.13 a	9.83 bc
Arriñonado 1	6069 a	7.24 ab	16.58 bc
Arriñonado 3	5129 a	6.09 ab	51.23 a
Cereza 1	5731 a	6.74 ab	9.76 bc
Cereza 2	4771 a	5.58 b	9.33 c
Cherri Co	5640 a	7.06 ab	4.32 c
Cherri Hu	4409 a	6.42 ab	12.92 bc
Cherri Md	8247 a	7.49 ab	4.01 c
Cherri Te	4813 a	7.88 ab	4.46 c
Cuautomate	5002 a	6.70 ab	19.08 bc
Simarrona 1	7964 a	6.51 ab	10.57 bc
Simarrona 2	5902 a	5.83 b	10.17 bc
Totonaca 1	4544 a	7.81 ab	26.10 b
Totonaca 2	6562 a	8.46 ab	19.62 bc
DMSH [¶]	5174	3.07	16.57

[¶]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [§]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($p \leq 0.05$).

Los sólidos solubnes totales de los jitomates nativos estudiados fueron superiores al intervalo entre 3.50 y 5.96 ° Brix, de variedades comerciales por Rousseaux *et al.* (2005), Barrett *et al.* (2007) y Casierra-Posada y Aguilar-Avendaño (2008). Esta variable es importante en jitomates del tipo cereza ya que al consumirlos en estado

fresco, la concentración de ácidos orgánicos, expresado como °Brix, determina directamente el sabor del jitomate y por lo tanto su aceptación en el mercado.

Los jitomates tipo cereza, cuyo principal utilización es en fresco como adorno en distintas presentaciones se caracterizan por su tamaño pequeño con peso entre 10 y 30 gramos (Diez, 1995), sin embargo, los genotipos Cherri Co, Cherri Md y Cherri Te, cuyo fruto es de tipo cereza, sólo tuvieron un peso entre 4.01 y 4.32 g (Cuadro 10).

En cuanto a las características de forma del fruto (índice de redondez), firmeza y porcentaje de pulpa (Cuadro 11), se puede señalar que existe uniformidad en los genotipos bajo estudio. Todos presentaron forma achatada, con índice de redondez menor a uno, baja firmeza y porcentaje de pulpa superior a 50 %.

La baja firmeza encontrada es una desventaja por el daño que puede sufrir el fruto durante la postcosecha; sin embargo, por el tamaño de los frutos, no es comparable con la firmeza en otros tipos de jitomate. Debido a esto, la presentación de los frutos para su comercialización es en pequeñas charolas, evitando así el manejo de gran cantidad de fruta, muy susceptible de sufrir daño.

En cuanto al porcentaje de pulpa, los jitomates del tipo cereza tienen baja cantidad de semilla, la cual muchas veces llega a ser imperceptible para el consumidor.

En la vida de anaquel (Cuadro 11), se puede observar que no hay diferencias en la duración del fruto, la cual fluctuó entre 10 y 17 días, a temperatura ambiente, lo que es una característica positiva ya que prolonga el período de comercialización del producto y además esta característica puede utilizarse como un parámetro de selección de genotipos.

Cuadro 11. Índice de redondez, firmeza, porcentaje de pulpa y vida de anaquel, evaluados en 14 genotipos de jitomate nativo.

GENOTIPO	Índice de redondez (dp de ⁻¹)	Firmeza (N)	Pulpa (%)	Vida de anaquel (días)
Arriñonado	0.84 a	1.53 ab	67.5 bcde [¶]	16 a
Arriñonado 1	0.55 c	1.49 ab	87.5 abc	16 a
Arriñonado 3	0.56 c	2.14 a	63.7 cde	12 a
Cereza 1	0.83 a	1.27 ab	90.9 ab	15 a
Cereza 2	0.89 a	1.33 ab	90.4 ab	15 a
Cherri Co	0.88 a	0.78 b	59.9 e	17 a
Cherri Hu	0.75 ab	1.76 ab	84.6 abcd	16 a
Cherri Md	0.90 a	0.71 b	91.7 a	16 a
Cherri Te	0.87 a	1.02 ab	81.8 a-e	15 a
Cuautomate	0.62 bc	1.91 ab	80.2 a-e	10 a
Simarrona 1	0.89 a	1.18 ab	86.5 abc	10 a
Simarrona 2	0.87 a	1.91 ab	60.8 de	16 a
Totonaca 1	0.55 c	1.91 ab	80.6 a-e	15 a
Totonaca 2	0.56 bc	1.20 ab	84.9 abcd	15 a
DMSH [¶]	0.20	1.27	24.2	12

[¶]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [§]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($p \leq 0.05$).

En el color (Cuadro 12), no se encontró gran variabilidad entre genotipos, presentando valores de luminosidad, entre 25.1 y 34.1, pureza del color (croma) de 21.6 a 36.6 y ángulo de tono (hue) entre 31.6 y 52.3; lo que indicaría que al momento de cosechar, se puede obtener un producto homogéneo con la misma coloración.

Cuadro 12. Luminosidad, intensidad del color y ángulo de tono, evaluados en 14 genotipos de jitomate nativo.

GENOTIPO	Luminosidad (L)	Intensidad del color (Croma)	Angulo de tono (Hue)
Arriñonado	32.38 ab	28.22 bcde	49.92 a
Arriñonado 1	30.86 ab	36.61 a	43.28 a
Arriñonado 3	28.72 ab	34.05 ab	52.33 a
Cereza 1	32.70 ab	26.13 bcde	40.50 a
Cereza 2	30.39 ab	24.99 cde	35.07 a
Cherri Co	32.74 ab	21.57 e	42.63 a
Cherri Hu	29.27 ab	32.74 abc	41.51 a
Cherri Md	30.38 ab	23.69 de	35.53 a
Cherri Te	32.81 ab	30.01 abcd	52.28 a
Cuautomate	31.30 ab	31.51 abcd	49.93 a
Simarrona 1	25.10 b	30.80 abcd	36.71 a
Simarrona 2	28.97 ab	29.75 abcde	31.55 a
Totonaca 1	33.53 ab	25.39 cde	32.98 a
Totonaca 2	34.07 a	26.58 bcde	35.08 a
DMSH [¶]	8.74	8.31	0.20

[¶]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [§]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($p \leq 0.05$).

Análisis de correlación

Se encontraron coeficientes de correlación bajos (entre -0.32 y 0.55), por lo tanto no se detectaron asociaciones de tipo lineal, lo que indica que no existe una relación entre el color del fruto y el contenido de los compuestos, ni la capacidad antioxidante.

Comparación entre variedades comerciales y genotipos silvestres

Se llevó a cabo un análisis considerando los tipos comerciales y silvestres, donde se incluyeron las variables acidez, vitamina C, capacidad antioxidante, contenido de

fenoles, licopeno y sólidos solubles totales (Cuadro 13), y se encontró efecto del tipo de jitomate en acidez, vitamina C, licopeno y sólidos solubles totales.

Cuadro 13. Cuadrados medios y significancia estadística de las variables evaluadas en variedades comerciales y genotipos nativos de jitomate.

FV	AC	VC	AX	FE	LI	SST
Tipo	0.97*	1633.2*	102.2	138.08	228090277.5*	60.4*
Error	0.06	259.6	4886.0	50.58	3020509.9	2.2
CV (%) [†]	17.61	42.7	26.2	61.28	34.1	12.9
Media	0.76	22.4	96.3	11.00	4162.8	6.3

FV: fuente de variación, AC: Acidez, VC: Vitamina C, AX: Capacidad antioxidante, FE: Fenoles, LI: Licopeno, SST: Sólidos solubles totales, [†]CV: coeficiente de variación. *: significativo con $p \leq 0.05$.

En el Cuadro 14 se puede observar que los genotipos nativos presentaron mayor acidez que las variedades comerciales. Ambos superan el nivel de referencia de 0.20 % reportado por Chamarro (1995), pero son similares al 0.67 % de ácido cítrico de jitomates tipo cereza, cosechados cuando su color era de anaranjado a rojo (Cantwell *et al.*, 2009). La acidez de los frutos de genotipos nativos, es mayor a la de jitomates tipo cereza producidos en Italia, bajo diferentes condiciones de cultivo (Pulvento *et al.*, 2008). La alta acidez podría afectar negativamente el sabor, sobre todo en los genotipos nativos cuyo consumo es principalmente en fresco.

El contenido de vitamina C, de las variedades comerciales fue mayor que los valores de referencia de 20 mg 100 g⁻¹ (Chamarro, 1995); sin embargo, tanto las variedades comerciales como los genotipos nativos presentaron contenidos menores a los encontrados por Juárez-López *et al.* (2009) en genotipos silvestres, y por Cantwell *et al.* (2009) en jitomates tipo cereza (37 a 121 mg ác. ascórbico 100 g⁻¹).

Cuadro 14. Contenido de acidez, vitamina C y capacidad antioxidante de variedades comerciales y genotipos nativos de jitomate.

VARIEDAD	Acidez (% ácido cítrico)	Vitamina C (mg ácido ascórbico 100g ⁻¹)	Capacidad antioxidante (µmol eq Trolox 100g ⁻¹)
Comercial	0.63 b [§]	27.74 a	94.93 a
Nativo	0.86 a	18.26 b	97.30 a
DSMH [¶]	0.12	7.89	34.21

[¶]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [§]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey (p≤0.05).

Con respecto a la capacidad antioxidante (Cuadro 14) y contenido de fenoles (Cuadro 15), no hubo diferencia entre ambos tipos de jitomate, y los valores encontrados fueron en capacidad antioxidante, inferiores a 136 µmol eq Trolox 100 g⁻¹ (Rouseaux *et al.*, 2005) y al intervalo entre 170 y 420 µmol eq Trolox 100 g⁻¹ (Raffo *et al.*, 2006), de jitomate comercial; mientras que los fenoles fueron menores a los 200 mg de ác. gálico 100 g⁻¹ reportados por Rouseaux *et al.* (2005) para jitomate cereza silvestre y para una variedad comercial.

Cuadro 15. Contenido de fenoles, licopeno y sólidos solubles totales de variedades comerciales y genotipos silvestres de tomate.

VARIEDAD	Fenoles (mg Ac. gálico 100g ⁻¹)	Licopeno (µg 100g ⁻¹)	Sólidos solubles totales (°Brix)
Comercial	12.56 a [§]	2151.4 b	5.23 b
Nativo	9.80 a	5695.2 a	7.07 a
DSMH [¶]	3.48	850.67	0.72

[¶]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [§]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey (p≤0.05).

Los jitomates silvestres presentaron una concentración significativamente superior de licopeno que las variedades comerciales, pero inferior a los 8600 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$, encontrados por Raffo *et al.* (2006). Estos mismos autores señalan que existe una variación estacional de la concentración de este pigmento, siendo mayor durante el verano con valores de 3800 a 6600 $\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$, mientras que durante los meses de invierno disminuye a 2600 a 3100 $\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$.

La mayor concentración de licopeno encontrada en los genotipos silvestres, al igual que el contenido de sólidos solubles totales (Cuadro 15), serían de gran utilidad como carácter de selección para mejoramiento genético de jitomate.

3.6 CONCLUSIONES

Las variedades comerciales y nativas de jitomate tienen baja concentración de fenoles, antocianinas y capacidad antioxidante. Las primeras tienen mayor acidez y vitamina C, pero los segundos, mayor contenido de licopeno y sólidos solubles totales.

No se encontró asociación entre las variables bioquímicas y el color del fruto, en ambos grupos de jitomate evaluados.

3.7 LITERATURA CITADA

- Anónimo. 2001. CIELAB Color manager manual. [En línea]. Disponible en http://www.linocolor.com/colorman/sp_siela_2.htm (Revisado el 25 de junio del 2009)
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1980. Official Methods of Analysis. Horwitz, W. (ed). 13th Ed. Benjamin Franklin Station, Washington DC. USA. 1018 p.
- Barrett, D.M., C. Weakley, J.V. Díaz and M. Watnik. 2007. Qualitative and nutritional differences in processing tomatoes grown under commercial organic and conventional production systems. *Journal of Food Science* 72(9):441-451.
- Batu, A. 2004. Determination of acceptable firmness and colour values of tomatoes. *Journal of Food Engineering* 61:471-475.

- Beltrán-Orozco, M.C., T.G. Gallardo-Velázquez y G. Osorio-Revilla. 2009. Acido ascórbico, contenido fenólico y capacidad antioxidante de las variedades roja, cereza, amarilla y blanca del fruto del cactus de la pitaya (*Stenocereus stellatus* Riccobono). *Agrociencia* 43:153-162.
- Burns, J., P.D. Fraser and P.M. Bramley. 2003. Identification and quantification of carotenoids, tocopherols and chlorophylls in commonly consumed fruits and vegetables. *Phytochemistry* 62:939-947.
- Cantwell, M., X. Nie and G. Hong. 2009. Impact of storage conditions on grape tomato quality. In: 6th ISHS Postharvest Symposium. 8-12 Abril. Antalya, Turkey.
- Casierra-Posada, F. y O. Aguilar-Avenidaño. 2008. Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. *Agronomía Colombiana* 26(2):300-307.
- Chamarro, L.J. 1995. Anatomía y fisiología de la planta. pp. 43-91. In: El cultivo del tomate. F Nuez (ed.). Ediciones Mundi-Prensa, España.
- Corral-Aguayo, R., E. Yahia, A. Carrillo-López, and G. González-Aguilar. 2008. Correlation between some nutritional components and the total antioxidant capacity measured with six different assays in eight horticultural crops. *J. Agric. Food Chem* 56:10498-10504.
- Craker, L.E. 1971. Postharvest color promotion in cranberry with ethylene. *HortScience* 6:137-139.
- Diez, N.M.J. 1995. Tipos varietales. pp. 93-129. In: El cultivo del tomate. F Nuez (ed.). Ediciones Mundi-Prensa, España.
- Fish, W.W., P.Oerkins-Veazie and J.K. Collins. 2002. A quantitative assay for lycopene that utilizes reduced volumes of organic solvents. *Journal of Food Analysis* 15:309-317.
- Fogliano, V., V. Verde, G. Randazzo and A. Ritieni. 1999. Method for measuring antioxidant activity and its application to monitoring the antioxidant capacity of wines. *J. Agric. Food Chem.* 47:1035-1040.
- Franke, A.A., L.J. Custer, C. Arakaki and S.P. Murphy. 2004. Vitamin C and flavonoid levels of fruits and vegetables consumed in Hawaii. *Journal of Food Composition and Analysis* 17:1-35.
- Gómez, K. and A. Gómez. 1984. Statistical procedures for agricultural research. John Wiley & Sons. Inc. USA. 680 p.
- Hernández, M., E. Rodríguez and C. Díaz. 2008. Analysis of organic acid content of tomato harvest in Tenerife. *Eur Food Res Technol* 226: 423-435.

- Hwang, E. 2005. Tomato-based products and lycopene in prevention of cancer: bioavailability and antioxidant properties. *Cancer Prev Res* 10: 81-88.
- Javanmardi, J. and C. Kubota. 2006. Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology* 41:151-155.
- Juárez-López, P., R. Castro-Brindis, T. Colinas-León, P. Ramírez-Vallejo, M. Sandoval-Villa, D.W. Reed, L. Cisneros-Zevallos y S. King. 2009. Evaluación de calidad en frutos nativos de siete genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* var. cerasiforme). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15(2): 5-9.
- Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymol.* 148:350-382.
- Little, A.C. 1975. Off on a tangent. *Journal of Food Science* 40:410-411.
- Litwack, G. 1967. *Bioquímica Experimental*. Ediciones Omega S.A. Barcelona, España. 378 p.
- Long, M., D.J. Millar, Y. Kimura, G. Donovan, J. Rees, P.D. Fraser, P.M. Bramley and G.P. Bolwell. 2006. Metabolite profiling of carotenoid and phenolic pathways in mutant and transgenic lines of tomato: identification of a high antioxidant fruit line. *Phytochemistry* 67:1750-1757.
- Madhavi, D.L. y D.K. Salunkhe. 1998. pp. 171-201. *In: Handbook of vegetable science and technology: production, composition, storage and procesing*. Salunkhe, D.K. y S.S. Kadan (eds.) Marcel Dekker, Inc. New York, USA.
- Martínez-Barajas, E. 2003. Análisis de la acumulación de azúcares en pericarpios de dos genotipos silvestres de jitomate (*Lycopersicon esculentum*). *Agrociencia* 37: 363-370.
- Mc Guire, R. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27(12): 1254-1255.
- Moser, U. 2006. Vitaminas, ácidos grasos, carotenoides y la salud. *Indualimentos* 9(42): 18-22.
- Moyer, R.A., K.E. Hummer, C.E. Finn, B. Frei y R.E. Wrolstad. 2002. Anthocyanins, phenolics and antioxidant capacity in diverse small fruits: *Vacciniu*, *Rubus* and *Ribes*. *J. Agric. Food Chem.* 50:519-525.
- Newell-McGloughlin, M. 2008. Nutritionally improved agricultural crops. *Plant Physiology* 147:939-953.

- Pantelidis, G.E., M. Vasilakakis, G.A. Manganaris and Gr. Diamantidis. 2007. Antioxidant capacity, phenol, anthocyanin and ascorbic acid contents in raspberries, red currants, gooseberries and Cornelian cherries. *Food Chemistry* 102: 777-783.
- Pellegrini, N., M. Serafini, B. Colombi, D. Del Rio, S. Salvatore, M. Bianchi and F. Brighenti. 2003. Total antioxidant capacity of plant foods, beverages and oils consumed in Italy assessed by three different in vitro assays. *J. Nutr.* 133(9): 2812-2819.
- Pennington, J.A.T. and R. A. Fisher. 2009. Classification of fruits and vegetables. *Journal of Food Composition and Analysis*. 22S: S23-S31.
- Perkins-Veazie, J.K. Collins, S.D. Pair and W. Roberts. 2001. Lycopene content differs among red-fleshed watermelon cultivars. *J. Sci. Food Agric.* 81:983-987.
- Polder, G., G.W.A.M. van der Haijden, H. van der Voet and I.T. Young. 2004. Measuring surface distribution of carotenes and chlorophyll in ripening tomatoes using imaging spectrometry. *Postharvest Biology and Technology* 34:117-129.
- Pulvento, C., M. Riccardi, R. d'Andria, A. Lavini and D. Calandrelli. 2008. Effects of déficit irrigation on two cherry tomato cultivars in hilly areas. *Options Méditerranéennes* A84: 177-184.
- Raffo, A., G. La Malfa, V. Fogliano, G. Maiani and G. Quaglia. 2006. Seasonal variations in antioxidant components of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* cv. Naomi F1). *Journal of Food Composition and Analysis* 19: 11-19.
- Rousseaux, M.C., C.M. Jones, D. Adams, R. Chetelat, A. Bennett y A. Powell. 2005. QTL analysis of fruit antioxidants in tomato using *Lycopersicon pennellii* introgression lines. *Theor Appl Genet* 111:1396-1408.
- Sahlin, E. et al. 2004. Investigation of antioxidant properties of tomatoes after processing. *J. Food Composition and Analysis* 17:635-647.
- Salazar, S.I. 2005. Elección de variedades para invernadero. pp. 105-125. *In: Producción de jitomate en invernadero*. Bautista N. y Alvarado, J. (eds.). Colegio de Postgraduados, México.
- SAS Institute. 1998. Language guide for personal computer release. 6.03 Edition. SAS Institue. Cary. N.C. USA. 1028 p.
- Scalzo, J. A. Politi, N. Pellegrini, B. Mezzetti and M. Battino. 2005. Plant genotype affects total antioxidant capacity and phenolic contents in fruit. *Nutrition* 21:207-213.

- Speisky, H., C. Rocco, C. Carrasco, E. A. Lissi and C. López-Alarcón. 2006. Antioxidant screening of medicinal herbal teas. *Phytother Res* 20(6):462-467.
- Sun, J., Y-F. Chu, X. Wu and R.H. Liu. 2002. Antioxidant and antiproliferative activities of common fruits. *J. Agric. Food Chem.* 50:7449-7454.
- Sun, T., P.W. Simon and S.A. Tanumihardjo. 2009. Antioxidant phytochemicals and antioxidant capacity of biofortified (*Daucus carota* L.) of various colors. *J. Agric. Food Chem.* 57:4142-4147.
- Tavarini, S., E. Degl'Innocenti, D. Remorini, R. Massai and L. Guidi. 2008. Antioxidant capacity, ascorbic acid, total phenols and carotenoids changes during harvest and after storage of Hayward kiwifruit. *Food Chemistry* 107:282-288.
- UFFVA. 1975. Color classification requirements in US standards for grades of fresh tomatoes. United Fresh Fruit and Vegetable Association in cooperation with U.S.D.A. Agricultural Marketing Service Fruit and Vegetable Division. USA.
- Velasco, H.E. y Nieto, A.R. 2006. Cultivo de jitomate en hidroponía e invernadero (Material didáctico). UACH Depto. Fitotecnia. México. 100 p.
- Wills, R., B. McGlasson and D. Graham. 2007. Postharvest: an introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals. CABI. UK. 227 p.

**4. CALIDAD NUTRIMENTAL Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN
VARIEDADES DE PIMIENTO MORRON (*Capsicum annum* L.)**

4.1 RESUMEN

El pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) posee variabilidad genética, y amplia gama de colores debido a la variación en la concentración de pigmentos, principalmente carotenos. Existe escasa información acerca del contenido de licopeno, antocianinas y de la actividad antioxidante, de su relación con el color del fruto y con las variedades que se encuentran en el mercado. Por lo anterior los objetivos de la presente investigación fueron determinar el contenido de componentes bioquímicos, físicos y capacidad antioxidante en frutos de seis variedades de pimiento morrón, estudiar relaciones entre componentes bioquímicos, especialmente con el parámetro de color hue. El estudio se llevó a cabo en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo. Todas las variedades presentaron altos contenidos de vitamina C, entre 274.3 y 355.5 mg de ácido ascórbico 100 g^{-1} y la variedad California de fruto amarillo, una capacidad antioxidante de $1281\text{ }\mu\text{mol eq Trolox } 100\text{ g}^{-1}$, mientras que en los pimientos rojos Triple 4, Triple Star y Viper se encontraron contenidos de licopeno de 5242, 2872 y $4831\text{ }\mu\text{g } 100\text{ g}^{-1}$, respectivamente, y superiores a las demás variedades ($p\leq 0.05$). Las antocianinas se encontraron en concentraciones inferiores a $1\text{ mg } 100\text{ g}^{-1}$ y las betalainas fueron menores a $5\text{ mg } 100\text{ g}^{-1}$. La luminosidad y el ángulo de tono hue se asoció negativamente con el contenido de antocianinas y licopeno, mientras que la pureza del color croma, sólo con licopeno. Las variedades estudiadas, por el alto contenido de vitamina C, licopeno y capacidad antioxidante pueden ser recomendadas como frutos ricos en fitonutrientes, y considerados como alimentos funcionales.

Palabras clave: ácido ascórbico, licopeno, capacidad antioxidante, betalainas.

4.2 ABSTRACT

Sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) has genetic variability and a great diversity of colors due to variations of pigments concentration, carotenoids mainly. There is little information about the content of lycopene, anthocyanins, antioxidant activity and relationship between color of the fruit and the cultivars found at the market. The aims of this research were to determine the content of biochemical and physic components and antioxidant capacity of six sweet peppers cultivars, to study relationships between biochemical components, especially with the hue parameter. The study was conducted in the Departamento de Fitotecnia of the Universidad Autonoma Chapingo. All cultivars showed high levels of vitamin C, between 274.3 and 355.5 mg of ascorbic acid 100 g⁻¹, and California cultivar with yellow fruit had an antioxidant capacity of 1281 μmol eq Trolox 100 g⁻¹, while red peppers Triple 4, Triple Star and Viper had lycopene contents of 5242, 2872 and 4831 g 100 g⁻¹, respectively, and higher than other cultivars ($p \leq 0.05$). The anthocyanins concentrations were less than 1 mg 100 g⁻¹ and betalains were below 5 mg 100 g⁻¹. The brightness and hue angle were positively associated with the content of anthocyanins and lycopene, whereas the purity of color chroma with the lycopene only. Because the high vitamin C and lycopene content and antioxidant capacity, the studied cultivars can be recommending as functional food.

Key words: ascorbic acid, lycopene, antioxidant capacity, betalains.

4.3 INTRODUCCIÓN

El pimiento (*Capsicum annuum* L.) es originario de América del Sur, de la zona de Bolivia y Perú, y al igual que otras especies hortícolas se incorporó a la amplia gama de productos saborizantes y hortalizas del Viejo Mundo (Namesny, 1996).

Al igual que el jitomate, el pimiento pertenece a la familia botánica de las solanáceas, posee una gran variabilidad genética que conlleva a que existan varias posturas respecto a su denominación botánica. Sin embargo, *Capsicum annuum* es la especie que agrupa a casi todas las variedades cultivadas (Namesny, 1996).

Entre las formas de utilización más extendidas del pimiento, se encuentra su consumo en fresco, cocido, ya sea verde o en estado de madurez más avanzado, cuando los frutos, según la variedad, pueden presentar diferentes coloraciones que van desde el color amarillo hasta púrpura. También se utiliza el fruto deshidratado para la preparación de pimentón (en polvo) que se obtiene de la molienda de la cáscara, además de la elaboración de conservas, tanto de variedades dulces como picantes, y otros usos como materia prima para la obtención de oleorresinas que utiliza la industria alimentaria (Namesny, 1996).

Esta especie es la fuente de la capsaicina, compuesto responsable del sabor pungente que caracteriza a los diferentes tipos de chile, entre los que se encuentran los cultivares dulces, llamados también chile o pimiento morrón.

Otros compuestos de importancia que se encuentran en el pimiento, son los carotenoides, responsables de la coloración roja del fruto, entre los que destaca la capsantina, capsorubina y criptoxantina, las cuales se encuentran enmascarando a los pigmentos amarillos como β -caroteno y violaxantina, que están presentes en frutos que

alcanzan en su madurez, una coloración desde amarilla o anaranjada hasta roja (Wien, 1999; Marín *et al.*, 2004). Sin embargo, algunos autores también mencionan al pimiento como fuente de licopeno, al igual que el jitomate (*Solanum lycopersicon* Mill) y la sandía (*Citrullus lanatus* var. *lanatus*) entre otras especies (Bramley, 2000).

Los pimientos sufren un gran cambio de color durante la maduración debido a la variación en la concentración de pigmentos, lo que determina que en los frutos verdes existan principalmente clorofilas, mientras que en los frutos amarillos y rojos, se encuentran en mayor concentración los carotenoides.

Existe escasa información acerca del contenido de los pigmentos licopeno y antocianinas, y de la actividad antioxidante del pimiento morrón, con relación al color de sus frutos y a las variedades que se encuentran en el mercado.

De acuerdo a lo anterior, el objetivo de la presente investigación fueron estudiar el contenido de algunos componentes bioquímicos, físicos y capacidad antioxidante en frutos de seis variedades comerciales de pimiento morrón de diferente coloración, encontrar las relaciones existentes entre las variables respuesta, especialmente con el parámetro de color hue.

4.4 MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, México, y se utilizó como material vegetal frutos de pimiento morrón de seis variedades comerciales y tres coloraciones de fruto: Magno (anaranjado), Moonset (amarillo), California (amarillo), Triple 4 (rojo), Triple Star (rojo) y Viper (rojo). El material fue cultivado durante los meses de abril a noviembre de 2009 en el Campo Experimental de la misma Universidad, bajo un sistema hidropónico abierto en sustrato de tierra volcánica y solución de Steiner (1961). La densidad de

plantación fue de 1.8 plantas m⁻², el cultivo se condujo a dos tallos, y los frutos fueron cosechados cuando más de 90 % de la superficie presentaba la coloración característica de la variedad.

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar, las repeticiones correspondieron a diez frutos por cada variedad y la unidad experimental fue un fruto.

Variables evaluadas

Acidez titulable (AOAC, 1980)

Se homogeneizaron 10 g de pulpa con 50 mL de agua destilada. De la mezcla se tomó una alícuota de 10 mL que se tituló con Hidróxido de Sodio 0.1 N utilizando Timolftaleína como indicador hasta alcanzar un pH de 8.2. La acidez se expresó como porcentaje de ácido cítrico utilizando la fórmula:

$$\% \text{ Ác. cítrico} = \frac{mL \text{ NaOH} \times N \times \text{Meq. ácido} \times V \times 100}{\text{Peso muestra} \times \text{alícuota}}$$

Donde:

N = Normalidad del NaOH

V = volumen total (mL después de moler en la licuadora)

Meq. Ácido = Miliequivalentes del ácido presente en mayor proporción (0.064 para el ácido cítrico).

Vitamina C (ácido ascórbico) por el método de Tillman (AOAC, 1980)

Se homogeneizaron 5 mL de jugo con 50 mL de una solución de ácido oxálico (0.5 %), de la cual se tomó una alícuota de 5 mL y se tituló con solución de Tillman (0.01 %) hasta que permaneció una coloración rosa visible por 1 minuto. La concentración se expresó en mg 100 g⁻¹ utilizando como estándar el ácido ascórbico.

Clorofila total y carotenos por el método de Lichtenthaler (1987)

Se tomaron 10 mL de jugo a los cuales se añadieron 10 mL de acetona a 80 %, la solución se filtró y se obtuvo la absorbancia a 663, 646 y 476 nm, utilizando acetona como blanco. Los cálculos se realizaron con las siguientes fórmulas:

$$\text{Clorofila a (C}_a\text{)} = 12.25 A_{663} - 2.79 A_{646}$$

$$\text{Clorofila b (C}_b\text{)} = 21.50 A_{646} - 5.10 A_{663}$$

$$\text{Clorofila total (C}_{a+b}\text{)} = 7.15 A_{663} + 18.71 A_{646}$$

$$\text{Carotenos} = (1000 A_{470} - 1.63 C_a - 104.96 C_b)(221^{-1})$$

Antocianinas por el método establecido por Craker (1971)

Se pesan 0.5 g de tejido, se trituran en mortero con metanol-HCl a 1% para posteriormente filtrar y leer absorbancia a 525 nm. Los valores se expresaron en mg 100 g⁻¹ de cianidina-3-glucósido (antocianina predominante) utilizando la ecuación:

$$\text{Antocianinas (mg 100 g}^{-1}\text{)} = (A \times \text{PM} \times \text{FD} \times 100) \varepsilon^{-1}$$

donde, A = absorbancia a 525 nm, PM = peso molecular de la cianidina-3-glucósido (449.2), FD = factor de dilución y ε = absortividad molar para la cianidina-3-glucósido (26,900).

Capacidad antioxidante mediante el método *N,N*-dimetil-*p*-fenil-*N*-diamina dihidrocloro (DMPD) (Fogliano *et al*, 1999)

El método consistió en preparar una solución de DMPD disolviendo 209 mg en 10 mL de agua destilada, de la cual se tomó 1 mL y se agregaron 100 mL de amortiguador acetatos 0.1 M (pH=5.25). En la solución obtenida se agregó 0.2 mL de cloruro férrico 0.05 M, logrando una concentración final de 0.1 mM. De esta solución se obtuvo su absorbancia a 505 nm, lo que correspondió a la señal no inhibida (A₀). La

curva estándar de antioxidante se determinó agregando 0.2 mL de diferentes concentraciones de TROLOX, obtenidas a partir de una solución de TROLOX en metanol (1 mg mL^{-1}), a 2 mL de la solución DMPD oxidada (color púrpura). La mezcla se agitó 10 minutos y se midió la absorbancia a 505 nm (A_f). La absorbancia de cada muestra se expresó como porcentaje de la solución del catión radical no inhibido mediante la ecuación:

$$A_{505} (\%) = (1 - A_f/A_o) * 100$$

donde, A_o = absorbancia del catión radical no inhibido; A_f = absorbancia medida 10 minutos después de haber agregado la solución estándar de TROLOX o la muestra del extracto de jugo. La capacidad antioxidante se expresó en $\mu\text{mol equivalentes trolox } 100 \text{ g}^{-1}$.

Fenoles totales por el método de Litwack (1967)

Se tomaron 2 mL de jugo de tuna a los cuales se adicionaron 0.4 mL de solución extractora compuesta por metanol, cloroformo y agua (2:1:1) y se centrifugó 15 minutos a 190 g. Se extrajo el sobrenadante, se adicionaron 10 mL de Na_2CO_3 (10 %), se incubó durante 15 minutos a $38 \text{ }^\circ\text{C}$, se tomó 1 mL de la solución, se agregó 1 mL de reactivo Folin-Ciocalteu, se dejó reposar 15 minutos en oscuridad y se obtuvo la absorbancia a 660 nm. Los datos se expresaron en $\text{mg } 100 \text{ g}^{-1}$, tomando como referencia una curva estándar de ácido gálico.

Licopeno

Se determinó con base a la metodología propuesta por Perkins-Veazie *et al.* (2001) y Fish *et al.* (2002) con algunas modificaciones. Para ello se trituraron 0.5 g de pulpa los cuales se mezclaron con 50 mL de una solución hexano:acetona:etanol (2:1:1) agitando durante 10 minutos. Luego se agregaron 7.5 mL de agua destilada y se agitó

por 5 minutos, hasta la separación de la capa de hexano de la cual se tomó una alícuota de 3 mL a la cual se midió su absorbancia en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 503 nm. El contenido de licopeno se determinó mediante la fórmula:

$$\text{Licopeno } (\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}) = \frac{A_{503\text{nm}} \times 31.2}{g \text{ pulpa}}$$

Betalainas por el método de Stintzing *et al.* (2003)

Se utilizó este método con algunas modificaciones, donde se tomó 1 mL de jugo de tuna al cual se agregó amortiguador Mc Ilvaine (pH=6.5) en dilución exacta para cada muestra, de forma tal, que la absorbancia a 480 nm (indicaxantina) y 538 nm (betanina) estuviera entre 0.8 y 1.0. El cálculo del contenido de betanina e indicaxantina se realizó mediante la fórmula:

$$\text{BC (mg L}^{-1}\text{)} = (A \times \text{FD} \times \text{PM} \times 1000)(\epsilon \times l)^{-1}$$

donde, BC = contenido de betanina/indicaxantina; A = absorbancia; FD = factor de dilución; PM = peso molecular (betanina/indicaxantina); ϵ = coeficiente de extinción molar de betanina/indicaxantina; l = ancho de la cubeta del espectrofotómetro (1 cm)

Sólidos solubles totales

Se determinaron en el jugo del fruto mediante un refractómetro digital marca ATAGO modelo PAL-1 con escala de 0 a 53 %, y se expresaron como °Brix.

Peso fresco

Se pesó el fruto completo con balanza electrónica marca Ohaus® modelo Scout Pro SP2001, una vez que fue trasladado al laboratorio.

Índice de redondez (diámetro polar/diámetro ecuatorial)

El índice de redondez define la forma del fruto, corresponde a la relación entre longitud y diámetro máximo. Se determinó con un vernier digital marca GENERAL®,

para lo cual se midió diámetro polar (dp) y diámetro ecuatorial (de) de cada fruto, y posteriormente se calculó la relación [(diámetro polar)/(diámetro ecuatorial)].

Firmeza del fruto

Se midió en la zona ecuatorial de los frutos sin piel, utilizando un texturómetro digital compact Gauge (Mecmesin®, EE.UU.) con puntal en forma de cono con diámetro y altura de 9 mm, registrándose la lectura en Newtons (N) de la fuerza aplicada hasta la penetración del puntal.

Color del fruto

Se determinó sobre la epidermis del fruto mediante un colorímetro manual ColorTec-PMC, el cual mediante un sistema triestímulo permite obtener las dimensiones L, a y b. El parámetro L mide directamente la luminosidad o brillantez y varía de 0, que representa color totalmente oscuro, hasta 100 que corresponde al máxima brillo. El valor a representa al color rojo si es positivo y al verde si es negativo, y el parámetro b corresponde al amarillo si es positivo y al azul si es negativo. A partir de los valores a y b se obtiene Croma = $\sqrt{a^2 + b^2}$, que mide la pureza del color reportando los datos en base al índice de saturación y Hue = $\tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right)$, que corresponde al ángulo de tono (Little, 1975; Mc Guire, 1992; Anónimo, 2001).

Análisis estadístico

Para determinar diferencias entre variedades, los datos obtenidos de todas las variables estudiadas fueron sometidos a un análisis de varianza y a una prueba de comparación de medias de Tukey con $p \leq 0.05$. Posteriormente se obtuvieron las correlaciones lineales entre pares de variables, incluyendo los datos de color, y considerando como criterio que por lo menos 50 % ($r^2=0.5$) de la variación de una variable

esté explicada por otra. Para todos los análisis se utilizó el programa estadístico SAS V 8.0 (1998).

4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza

El análisis de varianza mostró diferencias significativas en todas las variables con excepción de vitamina C, fenoles, clorofila b, clorofila total y betaxantina (Cuadro 1).

Cuadro 1. Cuadrados medios y significancia estadística de las variables evaluadas en frutos de seis variedades comerciales de pimiento morrón.

FV	AC	SST	VC	FE	AX	CA	CB
Variedad	0.05 *	1.08 *	2975.18	11.86	203415.36 *	47.49 *	59.24
Error	0.01	0.33	11875.25	14.36	49976.43	15.79	37.31
CV (%) [†]	24.85	6.52	34.54	42.98	22.99	44.17	37.15
Media	0.45	8.84	315.47	8.82	972.57	9.00	16.44
	CT	CR	LI	AN	BC	BX	
Variedad	190.68	1597.55 *	22093161.80 *	0.51 *	18.83 *	3.64	
Error	78.53	378.26	642249.80	0.02	3.94	3.29	
CV (%) [†]	34.84	35.56	34.75	28.94	53.73	53.40	
Media	25.44	54.69	2306.20	0.49	3.69	3.40	
	PF	IR	FI	L	C	H	
Variedad	3587.14 *	0.04 *	65.36 *	384.63 *	135.00 *	1596.16 *	
Error	473.83	0.01	13.08	5.75	17.97	17.43	
CV (%) [†]	18.38	10.32	18.99	7.35	9.84	8.45	
Media	118.41	0.79	19.04	32.62	43.09	49.41	

FV: fuente de variación, AC: acidez titulable, SST: sólidos solubles totales, VC: vitamina C, FE: fenoles, AX: capacidad antioxidante, CA: clorofila a, CB: clorofila b, CT: clorofila total, CR: carotenos, LI: licopeno, AN: antocianinas, BC: betacianina, BX: betaxantina, PF: peso fresco, IR: índice de redondez, FI: firmeza, L: luminosidad, C: croma, H: hue, [†]CV: coeficiente de variación. *: significativo con $p \leq 0.05$.

En el Cuadro 2 se pueden observar que la variedad Triple 4 presentó la mayor acidez, correspondiente a 0.67 % de ácido cítrico, en relación a las restantes variedades que presentaron en promedio 0.40 %.

Cuadro 2. Contenido de acidez, sólidos solubles totales, vitamina C y fenoles evaluados en frutos de seis variedades comerciales de pimiento morrón.

VARIEDAD	Acidez (% ác. cítrico)	Sólidos solubles totales (°Brix)	Vitamina C (mg ác. ascórbico 100g ⁻¹)	Fenoles (mg ác. gálico 100g ⁻¹)
California	0.38 b [§]	8.1 b	302.4 a	7.16 a
Magno	0.41 b	8.5 ab	328.6 a	8.51 a
Moonset	0.41 b	8.7 ab	309.7 a	9.72 a
Triple 4	0.67 a	9.2 ab	322.3 a	6.55 a
Triple Star	0.41 b	9.1 ab	355.5 a	10.98 a
Viper	0.40 b	9.5 a	274.3 a	9.98 a
DMSH [¶]	0.25	1.3	244.9	8.51

[¶]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [§]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($p \leq 0.05$).

Estos valores de acidez son superiores a lo encontrado por Serrano *et al.* (2010) para pimiento rojo cv. Herminio (0.25 %), pero iguales a la acidez que esta variedad alcanzó cuando las plantas recibieron aplicación de fitorreguladores (0.33-0.44 %), lo que sería una ventaja, ya que la mayor acidez es un factor de aceptación en el mercado.

En cuanto al contenido de sólidos solubles totales (Cuadro 2), sólo se encontraron diferencias entre las variedades Viper (rojo) y California (amarillo) con 9.5 y 8.1 ° Brix.

Al comparar estos valores con los reportados en otras investigaciones para pimientos rojos, se aprecia que las tres variedades (Triple Star, Triple-4 y Viper) presentaron un contenido de sólidos solubles totales superior al encontrado en cv. Domino (Tadesse *et al.*, 2002), que alcanzó 8 °Brix en el estado de madurez comercial, pero similar a lo reportado por Navarro *et al.* (2010) en el cv. Orlando (rojo), con un valor de 9.3 °Brix.

Estos valores son superiores a los encontrados en especies como jitomate (*Solanum lycopersicon*), donde se reportan entre 3.5 y 5.9 °Brix (Rousseaux *et al.*, 2005; Barrett *et al.*, 2007 y Casierra-Posada y Aguilar-Avenidaño, 2008).

Con respecto a vitamina C, no hubo diferencia entre variedades, presentando altos contenidos de ácido ascórbico, entre 274.3 y 355.5 mg 100 g⁻¹.

Los niveles encontrados en este estudio son mayores a las concentraciones reportadas por Perucka y Materska (2007) para dos cultivares de pimientos rojos producidos en Polonia, que alcanzaron entre 101.2 y 167.5 mg de ácido ascórbico 100 g⁻¹; además superan a variedades amarillas y rojas cultivadas en la India, las cuales presentaron entre 60 y 210 mg 100 g⁻¹ (Deepa *et al.*, 2007), e incluso son mayores a los valores de referencia (140 mg de ácido ascórbico 100 g⁻¹), señalados por Rajput y Parulekar (1998). Los mismos autores afirman que los pimientos dulces son ricos en vitaminas, especialmente vitamina C, lo cual se confirma al comparar los resultados con los contenidos encontrados en especies consideradas fuentes ricas en vitamina C como naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) en donde Franke *et al.* (2004) reportan entre 42.1 y 62.4 mg 100 g⁻¹, kiwi (*Actinidia chinensis* Planch.), entre 30 y 50 mg 100 g⁻¹ (Tavarini *et al.*, 2008), frambuesa (*Rubus idaeus* L.) y limón (*Citrus limon* (L.) Burm.), donde Sun *et al.* (2002) encontraron entre 37 y 46 mg de ác. ascórbico 100 g⁻¹.

En cuanto al contenido de fenoles (Cuadro 2), a pesar de que no hubo diferencia entre variedades, con valores entre 6.55 y 10.98 mg de ác. gálico 100 g⁻¹, éstos fueron bajos en comparación a los reportados por Perucka y Materska (2007), quienes señalan contenidos de 37.54 y 49.69 mg 100 g⁻¹ para los cultivares de pimiento dulce Red Knight y King Artur, respectivamente, producidos en Polonia.

Es importante considerar que en pimientos, el contenido de fenoles disminuye a medida que avanza la madurez del fruto desde color verde hasta el color característico (amarillo, anaranjado, rojo, entre otros), como lo observado por Marín *et al.* (2004) quienes reportan en pimiento cv. Vergasa, cultivado en España, un contenido de 1.99 mg 100 g⁻¹ de fenoles totales en estado verde, y 0.44 mg 100 g⁻¹ cuando el fruto alcanzó la madurez comercial, de color rojo; por lo tanto, para consumir pimientos con alto contenido de fenoles, deben consumirse cuando aún no han completado su madurez.

En otras investigaciones como la de Serrano *et al.* (2010), se reporta para pimiento rojo cv. Herminio una concentración de hasta 142 mg de ác. gálico 100 g⁻¹. Esta diferencia de concentración con respecto a los valores obtenidos en el presente estudio, se puede deber a que cuando el contenido de ácido ascórbico es alto, como ocurre en pimiento, el contenido de fenoles puede ser sobreestimado debido a la respuesta de éste al reactivo Folin Ciocalteu (utilizado para determinar fenoles). Para que esto no ocurra debe aplicarse un tratamiento térmico a la muestra analizada lo que inactiva al ácido ascórbico (Navarro *et al.*, 2006; Deepa *et al.*, 2007); sin embargo, como esto no se menciona en la metodología, hace suponer que los valores pueden estar sobre estimados, por lo tanto no serían comparables.

En cuanto a la capacidad antioxidante encontrada en las seis variedades (Cuadro 3), ésta coincide con lo señalado por Pennington y Fisher (2009) para pimiento, donde

de acuerdo a su clasificación de frutos y vegetales, los pimientos verdes y rojos se encuentran en el grupo de vegetales que tienen entre 500 y 1000 $\mu\text{mol eq Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$, al igual que la coliflor (*Brassica oleracea* L. convar. botrytis (L.) Alef. var. botrytis), maíz (*Zea mays* L.), plátano (*Musa acuminata* Colla), kiwi, uva blanca (*Vitis vinifera* L.), nectarina (*Prunus persica* var. nectarina (Aiton) Maxim) y piña (*Ananas comosus* (L.) Merr., entre otros.

Cuadro 3. Capacidad antioxidante, contenido de clorofila a, clorofila b y clorofila total evaluados en frutos de 6 variedades comerciales de pimiento morrón.

VARIEDAD	Capacidad antioxidante ($\mu\text{mol Trolox } 100\text{g}^{-1}$)	Clorofila a ($\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$)	Clorofila b ($\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$)	Clorofila total ($\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$)
California	1281 a	9.91 ab	21.00 a	0.16 C
Magno	729 b	9.27 ab	17.91 a	0.22 C
Moonset	844 ab	8.55 ab	16.68 a	0.19 C
Triple 4	1071 ab	14.43 a	19.22 a	0.63 B
Triple Star	1146 ab	3.70 b	10.77 a	0.71 B
Viper	765 b	8.12 ab	13.10 a	1.03 A
DMSH [¶]	502	8.93	13.73	19.91

[¶]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [§]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($p \leq 0.05$).

La variedad California que presentó el mayor valor, junto con Triple Star y Triple-4, tuvieron niveles de 1281, 1146 y 1071 $\mu\text{mol eq Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$, respectivamente.

Todas las variedades estudiadas, incluyendo las anaranjadas (California y Magno) y amarilla (Moonset), presentaron una capacidad antioxidante mayor a la

encontrada por Serrano *et al.* (2010) en pimiento rojo cv. Herminio, el cual reportó entre 274 y 331 $\mu\text{mol eq Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$, considerando que el valor más alto fue efecto de la aplicación de una fitohormona, mientras que los frutos bajo estudio no recibieron ningún tratamiento químico. De igual forma, la capacidad antioxidante encontrada en los pimientos estudiados, es superior a la reportada por Pellegrini *et al.* (2003) para la misma especie, ya que señala 840 $\mu\text{mol eq Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$, y junto a la espinaca (*Spinacea oleracea* L.) (849 $\mu\text{mol eq Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$) son las que presentan los mayores valores, superando a otras hortalizas como zanahoria (*Daucus carota* L.) que reporta 44 $\mu\text{mol eq Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$ y chile (*Capsicum annuum* L.) con 7.62 $\mu\text{mol eq Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$.

Por otra parte, al comparar la capacidad antioxidante de las variedades de pimiento estudiadas en esta investigación, con frutos de otras especies, los valores que presentaron los pimientos fueron mayores que manzana (*Malus pumila* Mill var. *domestica*), durazno (*Prunus persica* (L.) Batsch.) y damasco (*Prunus armeniaca* L.) que tienen entre 86 y 258 $\mu\text{mol eq Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$; incluso al comparar las variedades Triple-4, Triple Star y California con distintas especies del grupo de los berries (frutillas), que son los que poseen la mayor actividad antioxidante, estos pimientos presentaron valores similares a los reportados en algunas variedades de fresa, las cuales presentaron entre 1058 y 1603 $\mu\text{mol eq Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$ (Scalzo *et al.*, 2005; Pantelidis *et al.*, 2007; Pennington and Fisher, 2009).

Con respecto a los contenidos de clorofila, la variedad Triple 4, de fruto rojo, presentó la mayor concentración de clorofila a, con 14.43 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$, a diferencia de Triple Star, también de color rojo, con solo 3.70 $\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$ (Cuadro 3).

Cuadro 4. Contenido de carotenos, licopeno, antocianinas, betacianina y betaxantina en frutos de seis variedades comerciales de pimiento morrón.

VARIEDAD	Carotenos ($\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$)	Licopeno ($\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$)	Antocianinas (mg cianidina-3- glucósido 100 g^{-1})	Betacianina (mg betanina 100 g^{-1})	Betaxantina (mg indicaxantina 100 g^{-1})
California	58.2 ab	140 c	0.16 c	4.14 ab	3.61 a
Magno	39.4 b	660 c	0.22 c	6.13 a	4.73 a
Moonset	57.2 ab	92 c	0.19 c	6.14 a	2.20 a
Triple 4	91.5 a	5242 a	0.63 b	2.95 ab	4.05 a
Triple Star	39.6 b	2872 b	0.71 b	1.86 ab	3.32 a
Viper	42.0 b	4831 a	1.03 a	0.95 b	2.47 a
DMSH [¶]	43.7	1801	0.32	4.46	4.08

[¶]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [§]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($p \leq 0.05$).

En pimiento paprika, Deli *et al.* (2001) encontraron que el contenido de clorofila total disminuye hasta niveles cercanos a cero cuando alcanza la madurez y adquiere el color rojo, lo que coincide con los resultados encontrados en los frutos, los que fueron evaluados en completa madurez, ya que presentaron contenidos muy bajos de clorofila, entre 0.16 y 0.03 mg 100 g^{-1} (Cuadro 3). Lo anterior, debido a que a medida que avanza la madurez del fruto, ocurre la degradación de la molécula de clorofila, que genera compuestos no coloreados, lo que permite que se expresen otros pigmentos como los carotenos, los cuales, dependiendo de la variedad pueden otorgar al fruto una coloración desde amarilla hasta púrpura (Borovsky and Paran, 2008).

Así lo señala Deli *et al.* (2001) en pimiento paprika, que en estado verde presenta un contenido de carotenos de 19.6 mg 100 g⁻¹ bps, mientras que cuando completa su coloración roja, alcanza los 542.9 mg 100 g⁻¹ bps. Este comportamiento coincide con los contenidos de carotenos de las variedades aquí evaluadas (Cuadro 4), ya que presentaron entre 394.7 y 915.7 mg 100 g⁻¹ bps, sin apreciar diferencias que se puedan atribuir al color del fruto. Cabe destacar que estos contenidos son altos en comparación con los reportados para pimiento amarillo y rojo en Inglaterra, los cuales presentaron 101.3 y 87.8 mg 100 g⁻¹ bps, respectivamente (Burns *et al.*, 2003).

Por lo tanto, para utilizar los pimientos como fuente de clorofila, deberían ser cosechados en estado inmaduro, cuando presentan coloración verde, ya que pueden llegar a presentar 41 y 39 mg 100 g⁻¹ bps, de clorofila a y b, respectivamente (Burns *et al.*, 2003).

En cuanto al licopeno (Cuadro 4), Bramley (2000) señala que este pigmento, no sólo proviene del jitomate y sus productos derivados, sino que también se encuentra en sandía, uva roja, papaya maradol (*Carica papaya* L.) y guayaba roja (*Psidium guajava* L.), llegando a presentar concentraciones entre 23 y 72 µg g⁻¹.

En los pimientos estudiados, las variedades de fruto rojo presentaron los mayores contenidos en comparación con las amarillas y anaranjadas, es así como las variedades rojas Triple-4 y Viper presentaron los mayores contenidos de licopeno, que expresados en mg kg⁻¹ de peso seco (524 y 483) fueron superiores a lo encontrado por Navarro *et al.* (2006) en pimiento rojo cv. Orlando que presentó 322 mg kg⁻¹, y similares a lo reportado para jitomate comercial por Burns *et al.* (2003) en Inglaterra (522.5 mg kg⁻¹ bps).

Cabe destacar, que estas concentraciones (5242 y 4831 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) fueron incluso mayores a los valores reportados por Javanmardi and Kubota (2006) y Juárez-Lopez *et al.* (2009), para jitomate comercial y silvestre (3000-5190 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$).

En cuanto a los contenidos de antocianinas y betalaínas (Cuadro 4), la variedad Viper, que es de fruto rojo, presentó la mayor concentración de antocianinas, con 1.03 mg de cianidina-3-glucósido 100 g^{-1} ; sin embargo, es una concentración baja en comparación con frutos como los berries, donde incluso las frambuesas y grosellas amarillas presentan entre 1.3 y 3.4 mg de cianidina-3-glucósido 100 g^{-1} (Pantelidis *et al.*, 2007).

El contenido de betacianinas fue superior en las variedades amarillas (California y Moonset) y naranja (Magno), en comparación a las rojas, lo que supera incluso al contenido reportado por Butera *et al.* (2002) para tuna blanca, amarilla y roja, en las cuales encontraron 0.10, 1.04 y 5.12 mg betanina 100 g^{-1} , respectivamente; mientras que en el contenido de betaxantinas no se encontraron diferencias entre variedades. De igual manera, se puede apreciar que los contenidos de betacianina (6.14 mg de betanina 100 g^{-1}) y betaxantinas (4.73 mg de indicaxantina 100 g^{-1}) también fueron bajos en comparación con especies que se caracterizan por un alto contenido de este pigmento, como betabel (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris* var. *esculenta*) que alcanza entre 40 y 160 mg betacianina 100 g^{-1} , tuna amarilla con 8.42 mg indicaxantina 100 g^{-1} y tuna roja que presenta 5.12 mg betanina 100 g^{-1} (Butera *et al.*, 2002; Stintzing y Carle, 2007).

Los niveles encontrados confirman que las betaxantinas, a pesar de ser pigmentos amarillos, no están en directa relación con el color de los frutos, sino que siempre están en combinación con las betacianinas que otorgan coloración roja a púrpura.

Esto confirma que la familia *Solanaceae* no se caracteriza por presentar altas concentraciones de estos pigmentos, a diferencia de las familias *Chenopodiaceae*, *Amaranthaceae* y *Cactaceae* (Stintzing y Carle, 2007).

En el Cuadro 5 se presentan las características físicas de peso fresco, índice de redondez y firmeza, donde el peso fresco está relacionado con el tamaño del fruto, y es una característica de la variedad que determina el rendimiento.

Los frutos más pequeños, de menor peso, correspondieron a las variedades anaranjadas (California y Magno), mientras que el fruto de mayor peso correspondió a la variedad Triple 4, de color rojo.

Cuadro 5. Peso fresco, índice de redondez y firmeza de frutos de 6 variedades comerciales de pimiento morrón.

VARIEDAD	Peso fresco (g)	Índice de redondez (diámetro polar diámetro ecuatorial ⁻¹)	Firmeza (N)
California	94.57 b [§]	0.89 a	18.76 ab
Magno	87.63 b	0.69 bc	12.64 b
Moonset	132.98 ab	0.88 a	17.38 ab
Triple 4	170.03 a	0.85 ab	21.60 a
Triple Star	116.10 b	0.79 abc	19.24 ab
Viper	109.15 b	0.65 c	24.63 a
DMSH [¶]	48.92	0.18	8.13

[¶]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [§]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($p \leq 0.05$).

Con respecto al peso y tamaño del fruto, Navarro *et al.* (2010) señalan que esta característica varía con su estado de madurez ya que el fruto una vez formado, continúa

creciendo, y si se cosecha en un estado inmaduro (verde), tendrá un menor tamaño y peso que si se deja en la planta hasta que alcance una madurez más avanzada, presentando el color característico de la variedad. Por lo tanto, el peso del fruto va a depender del estado de madurez al momento de la cosecha.

En cuanto a la forma de los frutos, las seis variedades producen frutos que se denominan tipo blocky (Cuadro 5), que se caracterizan por ser cuadrados, con una relación entre el largo y ancho, menor a uno (Milla, 1996).

Con respecto a la firmeza, esta fue menor a la encontrada por Navarro *et al.* (2010) en el cv. Orlando (rojo), que al ser cosechado en madurez comercial, presentó una firmeza de 3.94 N mm^{-1} , en cambio las variedades evaluadas en este estudio, reportaron valores entre 12.64 y 21.60 N, lo que equivale a una firmeza entre 1.40 y 2.74 N mm^{-1} , considerando las características del puntal utilizado en las mediciones. Esta característica depende principalmente del estado de madurez en que se cosecha el fruto, ya que a medida que ésta se retrasa más allá del momento en que el fruto alcanza el color final característico de la variedad, la consistencia del fruto disminuye, afectando así el manejo y transporte, y por lo tanto, la vida de anaquel; además una vez cosechado, el fruto pierde rápidamente agua lo que limita aún más su vida post-cosecha (Rajput y Parulekar, 1998).

En cuanto a la coloración de los frutos, los pimientos pueden ser consumidos a diferentes estados de madurez, ya sea verdes cuando aún están inmaduros, cuando han completado su coloración característica, ya sea roja, amarilla, anaranjada, púrpura, o cuando aún no toda la superficie presenta el color final de la variedad.

Al respecto, Tadesse *et al.* (2002), observó en pimiento rojo cv. Domino que permanece verde por siete semanas antes que inicie el cambio de color, y durante ese período no ocurre ningún cambio en el ángulo hue; sin embargo posterior a ese tiempo

ocurre una disminución severa de hue, lo cual se refleja en la variación del color desde verde hasta rojo. El mismo autor señala que el croma es mayor en fruto inmaduro, pero decrece gradualmente hasta la cuarta semana después de antesis y permanece constante por siete semanas, para aumentar después de ocho semanas. En cuanto a la luminosidad, en los frutos del cv. Domino, presentaron pequeños cambios durante todo el crecimiento y desarrollo del fruto.

Cuadro 6. Luminosidad, pureza del color y ángulo de tono, evaluados en frutos maduros de 6 variedades comerciales de pimiento morrón.

VARIEDAD	Luminosidad (L)	Pureza del color (Croma)	Angulo de tono (Hue)
California	41.63 a	47.96 a	74.32 a
Magno	39.85 a	48.96 a	52.48 b
Moonset	42.39 a	45.94 ab	72.01 a
Triple 4	21.02 c	34.17 c	31.77 c
Triple Star	22.83 bc	43.21 abc	33.49 c
Viper	27.97 b	38.31 bc	32.38 c
DMSH [¶]	5.39	9.53	9.38

[¶]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [§]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($p \leq 0.05$).

Cabe señalar que en el presente estudio no se evaluó la evolución del color del fruto durante su desarrollo, sino que se midió solamente a la cosecha, debido a que como es considerado no climatérico, debe alcanzar el color deseado en la planta (López-Camelo, 2003).

En distintos estudios se ha observado que en algunas variedades de fruto rojo, hay un aumento en la producción de etileno cuando el fruto está cambiando de color, e incluso

se puede inducir un cambio de color más rápido al aplicar etileno a la planta una vez que el fruto ha iniciado este proceso (Wien, 1999; Tadesse *et al.*, 2002).

Se puede observar (Cuadro 6) que las variedades rojas presentaron valores de hue entre 31.77 y 33.49, mientras en que los frutos amarillos y anaranjados, este valor se acerca a 90, y en cuanto a la luminosidad, los frutos rojos tienen menos brillo que los amarillos y anaranjados.

Los pimientos dulces se caracterizan por su alto contenido de vitaminas, especialmente la vitamina A y C, pero también son fuente de β -caroteno. Los frutos verdes contienen clorofila a y clorofila b, en cambio una vez avanzado su estado de madurez, dependiendo de la variedad, disminuye el contenido de estos pigmentos, favoreciendo la expresión de pigmentos rojos y amarillos (Rajput y Parulekar, 1998).

Análisis de correlación

Para determinar asociaciones entre las variables bioquímicas y los parámetros de color, se construyó una matriz de correlación (Cuadro 7), donde se aprecia una correlación positiva entre clorofila total y clorofila a (0.86), clorofila total y clorofila b (0.93) y entre el contenido de licopeno y antocianinas (0.77), mientras que es negativa entre L y antocianinas (-0.74), L y licopeno (-0.83), croma y licopeno (-0.82), hue y antocianinas (-0.82) y entre hue y licopeno (-0.87). Lo anterior indica que 59 % ($r^2=0.59$) de la variación del contenido de licopeno puede ser explicada por el contenido de antocianinas, y 67 % ($r^2=0.67$) de la variación en la concentración de antocianinas y 76 % ($r^2=0.76$) de la variación de licopeno, se explican por el hue (Gómez y Gómez, 1984).

Cuadro 7. Coeficientes de correlación entre pares de caracteres registrados en frutos de seis variedades de pimiento morrón en base a 100 g de peso fresco.

	AC	VC	CA	CB	CT	CR	AN	AX	FE	LI	BC	BX	SST	L	C	H
AC	1	-0.03	0.44 *	0.35	0.43 *	0.52 *	0.01	0.32	-0.23	0.47 *	-0.08	0.07	0.28	-0.38	-0.50 *	-0.29
VC		1	-0.15	-0.21	-0.20	0.06	-0.05	0.37	-0.08	0.02	0.04	-0.18	0.11	-0.08	-0.17	-0.03
CA			1	0.62 *	0.86 *	0.34	-0.13	0.11	-0.35	0.07	0.13	0.16	0.10	0.03	-0.14	0.04
CB				1	0.93 *	0.47 *	-0.36	0.28	-0.17	-0.22	0.25	0.30	0.00	0.36	0.25	0.32
CT					1	0.47 *	-0.29	0.23	-0.28	-0.11	0.23	0.27	0.05	0.24	0.09	0.23
CR						1	-0.07	0.42	-0.28	0.25	0.13	0.16	0.26	-0.14	-0.27	0.02
AN							1	-0.21	0.08	0.77 *	-0.62 *	-0.08	0.62 *	-0.74 *	-0.52 *	-0.82 *
AX								1	-0.20	0.01	-0.06	0.12	0.03	-0.09	-0.10	0.15
FE									1	-0.10	0.08	-0.18	-0.17	-0.16	0.07	-0.08
LI										1	-0.61 *	-0.15	0.65 *	-0.83 *	-0.82 *	-0.87 *
BC											1	0.20	-0.39	0.54 *	0.41	0.60 *
BX												1	-0.10	0.05	0.27	0.01
SST													1	-0.44 *	-0.38	-0.61 *
L														1	0.72 *	0.89 *
C															1	0.63 *
H																1

AC: Acidez (% de ác. cítrico), VC: Vitamina C (mg ác. ascórbico 100g⁻¹), CA: Clorofila a (μg 100g⁻¹), CB: Clorofila b (μg 100g⁻¹), CT: Clorofila total (μg 100g⁻¹), CR: Carotenos totales (μg 100g⁻¹), AN: Antocianinas (mg cianidina-3-glucósido 100 g⁻¹), AX: Capacidad antioxidante (μmol equivalentes Trolox 100g⁻¹), FE: Fenoles (mg ác. gálico 100g⁻¹), LI: Licopeno (μg 100g⁻¹), BC: betacianina (mg betanina L⁻¹), BX: betaxantina (mg indicaxantina L⁻¹), SST: Sólidos solubles totales (°Brix), L: Luminosidad C: Croma (Pureza del color) H: Hue (ángulo de tono). *: significativo con $p \leq 0.05$.

Esta asociación entre el contenido de antocianinas y licopeno, se podría deber a un comportamiento de las variedades rojas como frutos climatéricos, lo que provocaría una degradación de la clorofila y aumento de pigmentos carotenoides como licopeno, responsable del color rojo, al mismo tiempo que se incrementa la producción de antocianinas (Kader, 2002).

La correlación negativa con respecto a hue, indica que frutos más rojos, con menor valor de hue, están relacionados con mayor contenido de antocianinas y licopeno; sin embargo la correlación entre licopeno y croma y entre este pigmento y L, indica que frutos de color rojo menos intenso y menos brillante, tienen mayor concentración de licopeno.

En el resto de las variables evaluadas no se detectaron asociaciones de tipo lineal, por lo tanto no existe una relación entre la capacidad antioxidante y los compuestos evaluados.

4.6 CONCLUSIONES

Todas las variedades evaluadas pueden considerarse ricas en vitamina C por su alta concentración de ácido ascórbico.

Las variedades California, Triple Star y Triple 4 son recomendadas por su alta capacidad antioxidante.

Pimientos de color rojo menos intenso y menos brillante, se asocian con alto contenido de licopeno.

4.7 LITERATURA CITADA

Adaskaveg, J.E., H. Förster and N.F. Sommer. 2002. Principles of postharvest pathology and management of decays of edible horticultural crops. pp. 163-195. *In*: Postharvest technology of horticultural crops. Kader, A.A. (ed.). University of California, Agricultural and Natural Resources. Publication 3311. USA.

Anónimo. 2001. CIELAB Color manager manual. [En línea]. Disponible en http://www.linocolor.com/colorman/sp_siela_2.htm (Revisado el 25 de junio del 2009).

- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1980. Official Methods of Analysis. Horwitz, W. (ed). 13th Ed. Benjamin Franklin Station, Washington DC. USA. 1018 p.
- Barrett, D.M., C. Weakley, J.V. Díaz and M. Watnik. 2007. Qualitative and nutritional differences in processing tomatoes grown unde commercial organic and conventional production systems. *Journal of Food Science* 72(9):441-451.
- Borovsky, Y. and I. Paran. 2008. Chlorophyll breakdown during pepper fruit ripening in the *chlorophyll retainer* mutation is impaired at the homolog of the senescence-inducible stay-green gene. *Theor Appl Genet* 117:235–240.
- Bramley, P.M. 2000. Is lycopene beneficial to human health? *Phytochemistry* 54: 233-236.
- Burns, J., P.D. Fraser and P.M. Bramley. 2003. Identification and quantification of carotenoids, tocopherols and chlorophylls in commonly consumed fruits and vegetables. *Phytochemistry* 62:939-947.
- Butera, D., L. Tesoriere, F. Di Gaudio, A. Bongiorno, M. allegra, A.M. Pintaudi, R. Kohen and M.A. Livrea. 2002. Antioxidant activities of sicilian prickly pear (*Opuntia ficus indica*) fruits extracts and reducing properties of its betalains: betanin and indicaxanthin. *J. Agric. Food Chem.* 50: 6895-6901.
- Casierra-Posada, F. y O. Aguilar-Avenidaño. 2008. Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. *Agronomía Colombiana* 26(2):300-307.
- Craker, L.E. 1971. Postharvest color promotion in cranberry with ethylene. *HortScience* 6: 137-139.
- Deepa,N., K. Ch. Kaur, B. George, B. Singh and H.C. Kapoor. 2007. Antioxidant constituents in some sweet pepper (*Capsicum annum* L.) genotypes during maturity. *LWT* 40: 121-129.
- Deli, J., P. Molnár, Z. Matus and G. Tóth. 2001. *J. Agric. Food Chem.* 49: 1517-1523.
- Fish, W.W., P.Oerkins-Veazie and J.K. Collins. 2002. A quantitative assay for lycopene that utilizes reduced volumes of organic solvents. *Journal of Food Analysis* 15:309-317.
- Fogliano, V., V. Verde, G. Randazzo and A. Ritieni. 1999. Method for measuring antioxidant activity and its application to monitoring the antioxidant capacity of wines. *J. Agric. Food Chem.* 47:1035-1040.
- Gómez, K. and A. Gómez. 1984. Statistical procedures for agricultural research. John Wiley & Sons. Inc. USA. 680 p.

- Franke, A.A., L.J. Custer, C. Arakaki and S.P. Murphy. 2004. Vitamin C and flavonoid levels of fruits and vegetables consumed in Hawaii. *Journal of Food Composition and Analysis* 17:1-35.
- Javanmardi, J. and C. Kubota. 2006. Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. *Postharvest Biology and Technology* 41:151-155.
- Juárez-López, P., R. Castillo-Brindis, T. Colinas-León, P. Ramírez-Vallejo, M. Sandoval-Villa, D.W. Reed, L. Cisneros-Zevallos y S. King. 2009. Evaluación de calidad en frutos nativos de siete genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* var. cerasiforme). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15(2): 5-9.
- Kader, A. A. 2002. Postharvest biology and technology: an overview. pp. 39-47. *In: Postharvest technology of horticultural crops*. Kader, A.A. (ed.). University of California, Agricultural and Natural Resources. Publication 3311. USA.
- Lichtenthaler, H.K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymol.* 148:350-382.
- Little, A.C. 1975. Off on a tangent. *Journal of Food Science* 40: 410-411.
- Litwack, G. 1967. *Bioquímica Experimental*. Ediciones Omega S.A. Barcelona, España. 378 p.
- López-Camelo, A. F. 2003. Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas. *Boletín de Servicios Agrícolas* N° 151. FAO. Roma.
- Marín, A., F. Ferreres, F.A. Tomás-Barberán and M.I. Gil. 2004. Characterization and quantitation of antioxidant constituents of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *Agric. Food Chem.* 52: 3861-3869.
- Mc Guire, R. 1992. Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27(12): 1254-1255.
- Milla, A. 1996. Capsicum de capsia, cápsula: el pimiento. pp: 21-31. *In: Pimientos: compendios de horticultura*. Namesny V., A. (ed.) Ediciones de Horticultua, S.L. España.
- Namesny V., A. 1996. El pimiento en el mundo. pp: 13-20. *In: Pimientos: compendios de horticultura*. Namesny V., A. (ed.) Ediciones de Horticultua, S.L. España.
- Navarro, J.M., P. Flores, C. Garrido and V. Martínez. 2006. Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. *Food Chemistry* 96: 66-73.

- Pantelidis, G.E., M. Vasilakakis, G.A. Manganaris and G. Diamantidis. 2007. Antioxidant capacity, phenol, anthocyanin and ascorbic acid contents in raspberries, red currants, gooseberries and Cornelian cherries. *Food Chemistry* 102: 777-783.
- Pellegrini, N., M. Serafini, B. Colombi, D. Del Rio, S. Salvatore, M. Bianchi and F. Brighenti. 2003. Total antioxidant capacity of plant foods, beverages and oils consumed in Italy assessed by three different in vitro assays. *J. Nutr.* 133(9): 2812-2819.
- Pennington, J.A.T. and R. A. Fisher. 2009. Classification of fruits and vegetables. *Journal of Food Composition and Analysis*. 22S: S23-S31.
- Perkins-Veazie, J.K. Collins, S.D. Pair and W. Roberts. 2001. Lycopene content differs among red-fleshed watermelon cultivars. *J. Sci. Food Agric.* 81:983-987.
- Peruka, I. and Materska, M. 2007. Antioxidant vitamin contents of *Capsicum annuum* extracts as affected by processing and varietal factors. *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.* 6(4): 67-74.
- Rajput, J.C. and Y.R. Parulekar. 1998. Capsicum. pp: 171-201. *In: Handbook of vegetable science and technology: production, composition, storage and processing.* Salunkhe, D.K. and S.S Kadam (eds.) Marcel Dekker, Inc. N.Y. USA.
- Rousseaux, M.C., C.M. Jones, D. Adams, R. Chetelat, A. Bennett and A. Powell. 2005. QTL analysis of fruit antioxidants in tomato using *Lycopersicon pennellii* introgression lines. *Theor Appl Genet* 111:1396-1408.
- SAS Institute. 1998. Language guide for personal computer release. 6.03 Edition. SAS Institute. Cary. N.C. USA. 1028 p.
- Scalzo, J. A. Politi, N. Pellegrini, B. Mezzetti and M. Battino. 2005. Plant genotype affects total antioxidant capacity and phenolic contents in fruit. *Nutrition* 21:207-213.
- Serrano, M., P.J. Zapata, S. Castillo, F. Guillén, D. Martínez-Romero and D. Valero. 2010. Antioxidant and nutritive constituents during sweet pepper development and ripening are enhanced by nitrophenolate treatments. *Food Chemistry* 118: 497-503.
- Stintzing, F.C., A. Schieber and R. Carle. 2003. Evaluation of colour properties and chemical quality parameters of cactus juices. *Eur Food Res Technol* 216: 303-311.
- Stintzing, F.C. and R. Carle. 2007. Betalains - emerging prospects for food scientists. *Trends in Food Science & Technology* 18: 514-525.
- Sun, J., Y-F. Chu, X. Wu and R.H. Liu. 2002. Antioxidant and antiproliferative activities of common fruits. *J. Agric. Food Chem.* 50:7449-7454.

- Tadesse, T., E.H. Hewett, M.A. Nichols and K.J. Fisher. 2002. Changes in physicochemical attributes of sweet pepper cv. Domino during fruit growth and development. *Scientia Horticulturae* 93: 91-103.
- Tavarini, S., E. Degl'Innocenti, D. Remorini, R. Massai and L. Guidi. 2008. Antioxidant capacity, ascorbic acid, total phenols and carotenoids changes during harvest and after storage of Hayward kiwifruit. *Food Chemistry* 107: 282-288.
- Wien, H.C. 1999. Peppers. *In: The physiology of vegetable crops*. Wien, H.C. (ed.) CABI Publishing. USA. pp: 259-293.

5. CONCLUSIONES GENERALES

Los cultivares de tuna púrpura, presentaron los mayores contenidos de vitamina C, clorofila total, carotenos, antocianinas, betacianinas, betaxantinas y capacidad antioxidante.

En tuna, se encontró un efecto ambiental, determinado por el año de cosecha, pero produce mayor variación en el contenido de compuestos en tunas rojas y púrpura.

Las variedades comerciales de jitomate tienen mayor contenido de vitamina C y acidez que los genotipos nativos, pero éstos últimos presentan mayor contenido de licopeno y sólidos solubles totales.

En pimiento morrón, todas las variedades evaluadas pueden considerarse ricas en vitamina C por su alta concentración de ácido ascórbico.

Las variedades California, Triple Star y Triple 4 de pimiento rojo tienen alto contenido de licopeno y podrían ser recomendadas por su alta capacidad antioxidante como alimento funcional.

En ninguna de las tres especies se encontró una correlación entre la capacidad antioxidante y los pigmentos evaluados.

Pimientos de color rojo menos intenso y menos brillante, se asocian con alto contenido de licopeno.

6. LITERATURA CITADA GENERAL

- Beltrán-Orozco, M.C., T.G. Gallardo-Velázquez y G. Osorio-Revilla. 2009. Ácido ascórbico, contenido fenólico y capacidad antioxidante de las variedades roja, cereza, amarilla y blanca del fruto del cactus de la pitaya (*Stenocereus stellatus* Riccobono). *Agrociencia* 43:153-162.
- Cano, M.P., C. Sánchez-Moreno, S. de Pascual-Teresa y B. de Ancos. 2005. Procesado mínimo y valor nutricional. pp.118. *In*: G. González-Aguilar (ed.). Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados. CIAD-México.
- Diplock, A.T., P.J. Aggett, M. Ashwell, F. Bornet, E.B. Fern and M. Roberfroid. 1999. Scientific concepts of functional foods in Europe: consensus document. *Br. J Nutr.* 81: S1-S27.
- Fernández-López, J.A. and L. Almela. 2001. Application of high-performance liquid chromatography to the characterization of the betalain pigments in prickly pear fruits. *J. Chromatogr. A* 913: 415-420.
- Gallegos, C. y S. Méndez. 2000. La tuna: criterios y técnicas para su producción comercial. Fundación Produce, Zacatecas, México. 164 p.
- Gómez-Romero, M., D. Arráez-Román, A. Segura Carretero and A. Fernández-Gutiérrez. 2007. Analytical determination of antioxidant in tomato: typical components of the Mediterranean diet. *J. Sep. Sci.* 30:452-461.
- Kalt, W. 2005. Effects of production and processing factors on mayor fruit and vegetable antioxidants. *Journal of Foods Science* 70(1):R11-R19.
- Moser, U. 2006. Vitaminas, ácidos grasos, carotenoides y la salud. *Indualimentos* 9(42): 18-22.
- Palomo, I., M. Gutiérrez, L. Astudillo, C. Reyes, C. Torres, L. Guzmán, R. Moore-Carrasco, G. Carrasco y M. Alarcón. 2009. Efecto antioxidante de frutas y hortalizas de la zona central de Chile. *Rev. Chil. Nutr.* 36(2): 152-158.
- Ramírez-Silva, I., J.A. Rivera, X. Ponce and M. Hernández-Ávila. 2009. Fruit and vegetable intake in the Mexican population: results from the Mexican National Health and Nutrition Survey 2006.
- Rousseaux, M.C., C.M. Jones, D. Adams, R. Chetelat, A. Bennett and A. Powell. 2005. QTL analysis of fruit antioxidants in tomato using *Lycopersicon pennellii* introgression lines. *Theor Appl Genet* 111:1396-1408.
- Sepúlveda, E., C. Sáenz, A. Peña, P. Robert, B. Bartolomé and C. Gómez-Cordovés. 2010. Influence of genotype on the anthocianin composition, antioxidant capacity and

- color of Chilean pomegranate (*Punica granatum* L.) juices. Chilean J. Agric. Res. 70(1): 50-57.
- Serrano, M., P.J. Zapata, S. Castillo, F. Guillén, D. Martínez-Romero and D. Valero. 2010. Antioxidant and nutritive constituents during sweet pepper development and ripening are enhanced by nitrophenolate treatments. Food Chemistry 118: 497-503.
- Shukla, V. and A.K. Mattoo. 2009. Potential for engineering horticultural crops with high antioxidant capacity. Perspectives in Agriculture, Veterinary, Science, Nutrition and Natural resources 4(66):1-22.
- Velasco, H.E. y Nieto, A.R. 2006. Cultivo de jitomate en hidroponía e invernadero (Material didáctico). UACH Depto. Fitotecnia. México.
- Wang, H., G. Cao and R.L. Prior. 1996. Total antioxidant capacity of fruits. J. Agric. Food Chem. 44: 701-705.
- Zamora, J.D. 2007. Antioxidantes: micronutrientes en lucha por la salud. Rev. Chil. Nutr. 34(1): 17-26.

7. ANEXO

Cuadro 1A. Contenido de acidez, vitamina C, sólidos solubles totales y fenoles, evaluados en frutos de 12 variedades de tuna durante los años 2008 y 2009.

Variedad	Año	Acidez (% de ácido cítrico)	Vitamina C (mg ác. ascórbico 100g ⁻¹)	Sólidos solubles totales (°Brix)	Fenoles (mg ác. gálico 100g ⁻¹)
Cristalina	2008	0.06 cd [§]	24.7 d	13.2 b-g	4.5 hi
	2009	0.05 cd	9.9 d	11.6 e-i	7.3 ghi
Mansa	2008	0.14 bc	48.3 cd	12.7 c-g	4.1 i
	2009	0.05 cd	18.8 d	11.5 f-i	5.1 hi
Vaquera	2008	0.09 bcd	53.7 cd	16.1 a	4.3 i
	2009	0.05 cd	62.7 cd	12.0 d-h	11.5 c-i
Mango	2008	0.09 bcd	16.6 d	14.9 abc	24.6 ab
	2009	0.12 bcd	24.4 d	12.0 d-h	6.8 ghi
A. Montesa	2008	0.07 cd	28.6 d	13.9 a-f	14.3 c-g
	2009	0.12 bcd	27.5 d	14.1 a-e	11.9 c-i
Pico Chulo	2008	0.06 cd	34.9 d	14.6 abc	13.4 c-g
	2009	0.10 bcd	26.4 d	12.6 c-g	10.5 e-i
Pabellón	2008	0.08 bcd	33.3 d	14.8 abc	12.6 c-h
	2009	0.14 bcd	83.4 bcd	14.9 abc	6.9 ghi
Cardona	2008	0.12 bcd	27.2 d	11.1 ghi	19.7 abc
	2009	0.08 bcd	66.0 cd	9.2 i	8.7 fghi
R. de Castilla	2008	0.06 cd	50.1 cd	15.1 abc	18.0 bcde
	2009	0.13 bcd	131.8 bc	14.3 abcd	6.6 ghi
Torreoja	2008	0.08 bcd	41.6 cd	15.6 ab	18.9 bcd
	2009	0.05 cd	160.7 b	13.8 a-f	7.4 ghi
Cacalote	2008	0.32 a	72.0 bcd	12.7 c-g	16.3 cdef
	2009	0.28 a	340.1 a	9.8 hi	10.8 d-i
T. aguanoso	2008	0.11 bcd	71.7 bcd	13.9 a-f	27.7 a
	2009	0.17 b	360.3 a	10.0 hi	12.6 c-h
DMSH [¶]		0.09	94.3	2.5	8.2

[¶]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [§]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($p \leq 0.05$).

Cuadro 2A. Capacidad antioxidante, contenido de clorofila a, clorofila b y clorofila total, evaluados en frutos de 12 variedades de tuna durante los años 2008 y 2009.

Variedad	Año	Capacidad antioxidante ($\mu\text{mol eq Trolox } 100 \text{ g}^{-1}$)	Clorofila a ($\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$)	Clorofila b ($\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$)	Clorofila total ($\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}$)
Cristalina	2008	266 de	133.2 d-h	164 de	297 bcd
	2009	360 de	207.6 cdef	264 de	309 bcd
Mansa	2008	296 de	68.7 efgh	159 de	228 bcd
	2009	432 de	64.1 efgh	98 de	241 bcd
Vaquera	2008	322 de	149.1 d-h	277 de	426 bcd
	2009	351 de	374.5 abc	937 ab	583 bc
Mango	2008	249 de	233.7 cde	394 cd	628 b
	2009	951 de	95.4 d-h	169 de	439 bcd
A. Montesa	2008	249 de	147.9 d-h	43 e	191 bcd
	2009	1363 de	185.3 defg	180 de	351 bcd
Pico Chulo	2008	214 de	105.5 d-h	23 e	129 cd
	2009	1122 de	441.0 ab	672 bc	424 bcd
Pabellón	2008	747 de	18.1 gh	28 e	46 d
	2009	393 de	103.9 d-h	137 de	365 bcd
Cardona	2008	nd	nd	nd	nd
	2009	4311 cd	201.5 cdef	223 de	162 cd
R. de Castilla	2008	1427 de	6.0 h	38 e	44 d
	2009	147 e	195.0 def	244 de	472 bcd
Torreaja	2008	724 de	45.8 fgh [§]	80 de	126 d
	2009	5725 c	264.3 bcd	318 de	264 bcd
Cacalote	2008	20418 a	461.1 a	800 ab	1261 a
	2009	658 de	206.6 cdef	144 de	1113 a
T. aguanoso	2008	15794 b	418.5 ab	1064 a	1482 a
	2009	1780 cde	122.1 d-h	187 de	1312 a
DMSH [¶]		4110	176.7	324	454

[¶]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [§]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($p \leq 0.05$).

Cuadro 3A. Contenido de carotenos, antocianinas, betacianina y betaxantina, evaluados en frutos de 12 variedades de tuna durante los años 2008 y 2009.

Variedad	Año	Carotenos ($\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$)	Antocianinas (mg cianidina 3- glucósido 100 g^{-1})	Betacianina (mg betanina 100 g^{-1})	Betaxantina (mg indicaxantina 100 g^{-1})
Cristalina	2008	47 h	0.01 e [§]	0.73 de	0.71 g
	2009	45 h	0.20 e	1.24 de	1.15 g
Mansa	2008	32 h	0.02 e	0.37 e	0.45 g
	2009	56 h	0.11 e	0.66 de	0.75 g
Vaquera	2008	28 h	0.03 e	0.74 de	0.85 g
	2009	102 gh	0.29 e	1.57 cde	1.61 fg
Mango	2008	1756 c-h	0.10 e	1.12 de	3.90 efg
	2009	835 efgh	0.72 e	1.85 cde	1.51 fg
A. Montesa	2008	1464 c-h	0.31 e	1.20 de	3.31 efg
	2009	2260 cde	0.97 e	1.14 de	4.46 defg
Pico Chulo	2008	1681 c-h	0.42 e	6.08 cde	3.69 efg
	2009	1901 c-g	1.29 e	1.74 cde	4.97 defg
Pabellón	2008	1189 d-h	2.14 de	2.98 cde	2.97 efg
	2009	640 efgh	2.65 de	3.27 cde	4.10 efg
Cardona	2008	nd	1.95 de	5.49 cde	2.98 efg
	2009	291 fgh	7.39 cde	5.54 cde	3.76 efg
R. de Castilla	2008	1372 c-h	3.50 de	5.75 cde	4.96 defg
	2009	979 efgh	5.03 de	6.78 cde	6.65 def
Torreoja	2008	3024 c	7.61 cde	8.75 cd	8.09 de
	2009	1932 cdef	10.21 cd	9.72 c	9.76 cd
Cacalote	2008	5285 b	13.93 c	25.2 b	14.56 bc
	2009	9827 a	28.52 b	26.92 b	22.86 a
T. aguanoso	2008	6044 b	26.19 b	42.17 a	17.05 b
	2009	2816 cd	45.36 a	38.62 a	23.12 a
DMSH [¶]		1803	8.32	8.29	5.31

[¶]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [§]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($p \leq 0.05$).

Cuadro 4A. Peso fresco, luminosidad, pureza del color y ángulo de tono, evaluados en frutos de 12 variedades de tuna durante los años 2008 y 2009.

Variedad	Año	Peso fresco (g)	Luminosidad (L)	Pureza del color (Croma)	Ángulo de tono (Hue)
Cristalina	2008	154.12 c-g [§]	46.77 bcd	29.15 a-e	96.39 a
	2009	257.08 a	40.58 def	18.23 efg	97.44 a
Mansa	2008	127.10 fgh	57.16 a	36.07 a	100.64 a
	2009	172.45 bcde	45.67 bcd	19.77 defg	101.85 a
Vaquera	2008	139.36 efgh	53.41 ab	34.20 ab	85.13 ab
	2009	196.43 bc	43.25 cde	22.06 b-g	76.09 abc
Mango	2008	145.22 d-h	50.26 abc	28.55 a-e	83.89 ab
	2009	197.65 b	41.22 cdef	32.99 abc	70.55 abc
A. Montesa	2008	152.38 d-h	39.14 def	32.43 abcd	48.30 cde
	2009	163.18 b-f	43.67 cde	31.86 abcd	72.50 abc
Pico Chulo	2008	136.52 efgh	44.17 bcde	29.69 a-e	70.92 abc
	2009	182.85 bcd	35.27 efg	32.65 abcd	63.13 bcd
Pabellón	2008	133.62 efgh	35.21 efg	26.24 a-f	30.54 def
	2009	137.13 efgh	26.53 ghi	21.41 b-g	32.01 def
Cardona	2008	56.06 j	41.28 cdef	21.68 b-g	30.54 def
	2009	74.73 ij	23.19 hij	25.03 a-g	18.02 ef
Rosa de Castilla	2008	140.00 efgh	32.11 fgh	22.03 b-g	29.46 ef
	2009	202.38 b	23.12 hij	29.61 a-e	20.43 ef
Torreoja	2008	150.12 d-h	32.62 fgh	16.79 efg	29.12 ef
	2009	172.38 bcde	17.53 ij	23.87 a-g	23.40 ef
Cacalote	2008	110.16 hi	24.52 hij	14.98 fg	15.88 ef
	2009	118.10 gh	16.05 j	23.37 a-g	11.81 f
T. aguanoso	2008	133.08 efgh	31.8 fgh	13.12 g	33.33 def
	2009	186.55 bcd	15.18 j	20.26 c-g	26.49 ef
DMSH [¶]		42.60	9.62	13.00	32.99

[¶]DMSH: diferencia mínima significativa honesta. [§]Medias con igual letra dentro de la misma columna son estadísticamente iguales según Tukey ($p \leq 0.05$).