

# CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN VARIEDADES DE PIMIENTO

## MORRON (*Capsicum annum* L.)

Inés Eradia Figueroa Cares, María Teresa Martínez Damián, Juan Enrique Rodríguez Pérez, Oscar Cruz Álvarez, María Teresa Beryl Colinas León, Salvador Valle Guadarrama y Sweetia Paulina Ramírez Ramírez

### RESUMEN

El pimiento morrón (*Capsicum annum* L.) posee una gran variabilidad genética, y presenta una amplia gama de colores debido a la variación en la concentración de pigmentos, principalmente carotenos. El objetivo de la presente investigación fue estudiar el contenido de componentes bioquímicos, caracteres físicos y capacidad antioxidante de seis variedades de pimiento morrón, encontrar relaciones entre las variables respuesta, especialmente con el parámetro de color (hue) y determinar qué caracteres pueden ser utilizados para selección de genotipos. El estudio se llevó a cabo en la Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México. Todas las variedades presentaron contenidos de vitamina C, entre 274,3 y 355,5 mg de ác. ascórbico/100g y la variedad California de fruto ama-

rillo una capacidad antioxidante de 1281 μmol eq Trolox/100g. En los pimientos rojos Triple 4, Triple Star y Viper se encontraron contenidos de licopeno de 5242, 2872 y 4831 μg/100g, respectivamente, y superiores a las demás variedades ( $p \leq 0,05$ ). Las antocianinas presentaron concentraciones <1 mg/100g y las betalainas <5 mg/100g. La luminosidad y el ángulo de tono hue se correlacionaron con el contenido de antocianinas y licopeno, mientras que la pureza del color (croma), solo con el contenido de licopeno. Las variedades estudiadas, por su contenido alto de vitamina C y licopeno, y su capacidad antioxidante, pueden ser recomendadas como frutos ricos en fitonutrientes y considerados como alimentos funcionales. Además, estas variables pueden ser utilizadas como caracteres de selección de variedades.

### Introducción

El pimiento es originario de América del Sur, de la región 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. Perteneció a la familia botánica de las solanáceas y posee una gran variabilidad genética que conlleva a que existan varias posturas respecto a su denominación botánica. Sin embargo, la mayoría de los autores aceptan que *Capsicum annum* es la especie que agrupa a casi todas las variedades cultivadas.

Entre las formas de utilización más extendidas del pimiento se encuentra su consumo en fresco y 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; otro uso es 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 se destaca la capsantina, capsorubina y criptoxantina, las cuales se encuentran enmascarando a los pigmentos amarillos como  $\beta$ -caroteno y

violaxantina, que están presentes en frutos que alcanzan en su madurez una coloración desde amarilla o anaranjada hasta roja (Wien, 1997; Marín *et al.*, 2004). 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,

**PALABRAS CLAVE:** Ácido Ascórbico / Betalainas / Capacidad Antioxidante / *Capsicum annum* / Licopeno /

Recibido: 27/03/2015. Modificado: 08/09/2015. Aceptado: 10/09/2015.

**Inés Eradia Figueroa Cares.** Doctora en Ciencias en Horticultura, Universidad Autónoma Chapingo (UACH), México. Profesora, Universidad de Concepción (UdeC), Chile.  
**María Teresa Martínez Damián.** Ingeniera Agrónoma, UACH, México. Maestra en Ciencias en Fruticultura y Doctora en Ciencias en Fisiología Vegetal, Colegio de

Posgraduados (COLPOS), México. Profesora Investigadora, UACH, México. Dirección: Departamento de Fitotecnia, UACH. Carretera México-Texcoco Km. 38.5. C.P. 56230, Texcoco, Estado de México, México. email: tere-md13@gmail.com  
**Juan Enrique Rodríguez Pérez.** Doctor en Ciencias en Genética, COLPOS, México.

Profesor Investigador, UACH, México.  
**Oscar Cruz Álvarez.** Doctor en Ciencias en Horticultura, UACH, México. Profesor Investigador, Universidad Autónoma de Chihuahua, México.  
**María Teresa Beryl Colinas León.** Doctora en Ciencias en Botánica y Ciencias de las Plantas. University of California

at Riverside, EEUU. Profesora Investigadora UACH, México.  
**Salvador Valle Guadarrama.** Doctor en Ciencias en Fisiología Vegetal, COLPOS. Profesor Investigador, UACH, México.  
**Sweetia Paulina Ramírez Ramírez.** Doctora en Ciencias en Horticultura, UACH, México. Profesora Investigadora, UACH, México.

## ANTIOXIDANT CAPACITY IN SWEET PEPPER (*Capsicum annuum* L.) VARIETIES

Inés Eradia Figueroa Cares, María Teresa Martínez Damián, Juan Enrique Rodríguez Pérez, Oscar Cruz Álvarez, María Teresa Beryl Colinas León, Salvador Valle Guadarrama and Sweetia Paulina Ramírez Ramírez

### SUMMARY

*Sweet pepper (Capsicum annuum L.) has a high genetic variability and a great diversity of colors due to variation in pigments concentration, mainly carotenoids. The aim of this research was to study the content of biochemical components, physical characteristics and antioxidant capacity of 6 sweet peppers cultivars, and explore the relationship between the response variables, especially with the hue and color parameters, to determine which characteristics can be used for genotypes selection. The study was conducted at the Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Mexico. All cultivars showed high contents of vitamin C, between 274,3 and 355,5mg of ascorbic acid/100g, and Calif ornia cultivar with yellow fruit had an*

*antioxidant capacity of 1281µmol eq Trolox/100g, while the red peppers Triple 4, Triple Star and Viper had lycopene contents of 5242, 2872 and 4831g/100g, respectively, and higher than other cultivars ( $p \leq 0.05$ ). Concentrations of anthocyanin were <1mg/100g and those of betalains <5mg/100g. The brightness and hue angle were correlated with the content of anthocyanins and lycopene, whereas purity of color (chroma) only correlated with lycopene content. Because of its high vitamin C and lycopene content and its antioxidant capacity, the studied cultivars can be recommended as rich phytonutrients fruits and considered as functional food. In addition to this characteristic, the studied variables can be used for genotype selection.*

## CAPACIDADE ANTIOXIDANTE NA VARIEDADE DE PIMENTO (*Capsicum annuum* L.).

Inés Eradia Figueroa Cares, María Teresa Martínez Damián, Juan Enrique Rodríguez Pérez, Oscar Cruz Álvarez, María Teresa Beryl Colinas León, Salvador Valle Guadarrama e Sweetia Paulina Ramírez Ramírez

### RESUMO

*Pimento (Capsicum annuum L.) tem uma grande variabilidade genética, e tem uma vasta gama de cores devido à variação na concentração de pigmentos, principalmente carotenos. O objetivo desta pesquisa foi estudar os componentes bioquímica, as características físicas e a capacidade antioxidante de seis variedades de pimenta vermelha, e encontrar relações entre as variáveis de resposta, especialmente o parâmetro de matiz e cor, para determinar os caracteres que podem ser usados para seleção de genótipos. O estudo foi realizado na Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México. Todas as variedades apresentaram teor de vitamina C, entre 274,3 e 355,5mg de ác. Ascórbico/100g e a variedade de fruta amarela Califórnia,*

*uma capacidade antioxidante de 1281µmol eq Trolox/100g. Em pimentas vermelhas Triplo 4, Estrela Tripla e Viper o teor de licopeno foi 5242, 2872 e 4831g/100g, respectivamente, e maior do que outras variedades ( $p \leq 0,05$ ). As antocianinas mostraram concentrações <1mg/100g e betalains foram <5mg/100g. O ângulo de brilho e tonalidade cor correlacionada com antocianinas e licopeno, enquanto que a pureza de cor (chroma), apenas o teor de licopeno. Pelo alto teor de vitamina C e licopeno e capacidade antioxidante as variedades estudadas podem ser recomendadas como frutas ricas em fitonutrientes e consideradas alimentos funcionais. Além disso, estas variáveis podem ser usados como caracteres de seleção de variedades.*

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.

El objetivo de la presente investigación fue estudiar el contenido de algunos componentes bioquímicos, caracteres físicos y capacidad antioxidante en frutos de seis variedades comerciales de pimiento morrón de diferente coloración y encontrar las relaciones existentes entre las variables respuesta, especialmente con el parámetro de color hue, y determinar

qué caracteres pueden ser utilizados para selección de genotipos.

### Materiales y Métodos

El experimento se llevó a cabo en el Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo, México, utilizando 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 en el Campo Experimental de dicha universidad, en invernadero bajo un sistema hidropónico con tezontle como sustrato. Los frutos fueron cosechados cuando 90% de la superficie presentaba la

coloración característica de la variedad.

El diseño experimental utilizado fue completamente al azar, evaluando 10 frutos por cada cultivar, siendo la unidad experimental un fruto.

### Variables evaluadas

**Acidez titulable.** Se evaluó de acuerdo con la metodología de la AOAC (1990), para lo cual se homogeneizaron 10g de tejido en 50ml de agua desionizada. Se tomó una alícuota de 10ml, la cual fue neutralizada con NaOH 0,1N y fenolftaleína como indicador. Los resultados se reportaron como porcentaje de ácido cítrico, utilizando la fórmula

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

donde N: normalidad del NaOH, V: volumen total (ml después de moler en la licuadora), y Meq. ácido: miliequivalentes del ácido presente en mayor proporción (0,064 para el ácido cítrico).

**Vitamina C (ácido ascórbico).** Se determinó de acuerdo con la metodología de AOAC (1990). Se homogeneizaron 5ml de tejido en 50ml de solución de ácido oxálico (0,5%); se tomó una alícuota de 5ml y se tituló con solución de Tillman (0,01%) hasta que permaneció una coloración rosa visible por 1min. La concentración se expresó en mg/100g utilizando como estándar el ácido ascórbico.

*Clorofila total y carotenos.* Se determinaron de acuerdo con la técnica propuesta por Lichtenthaler (1987), la cual consiste en tomar una muestra de 10g de tejido y realizar la extracción con 10ml de acetona al 80%. Se realizaron lecturas de absorbancia (A) a tres longitudes de onda (663, 646 y 476nm), mediante el uso de un espectrofotómetro digital UV-VIS Perkin Elmer. Los datos se reportan en  $\mu\text{g}/100\text{g}$ . Los cálculos se realizaron con las fórmulas

$$\text{Clorofila a } (C_a) = 12,25A_{663} - 2,79A_{646}$$

$$\text{Clorofila b } (C_b) = 21,50A_{646} - 5,10A_{663}$$

$$\text{Clorofila total } (C_{a+b}) = 7,15A_{663} + 18,71A_{646}$$

$$\text{Carotenos} = (1000A_{470} - 1,63C_a - 104,96C_b) / 221$$

*Antocianinas.* Se determinaron por el método propuesto por Craker (1971), que consiste en pesar 0,5g de tejido, triturar en mortero con metanol-HCl 1% para posteriormente filtrar y leer su absorbancia a 525nm. Los valores se expresaron en mg/100g de cianidina-3-glucósido (antocianina predominante) utilizando la ecuación

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

donde A: absorbancia a 525nm, PM: peso molecular de la cianidina-3-glucósido (449,2), FD: factor de dilución, y  $\epsilon$ : absorptividad molar para la cianidina-3-glucósido (26,900).

*Capacidad antioxidante.* La capacidad antioxidante se determinó mediante el método modificado de *N,N*-dimetil-p-fenil-*N*-diamina dihidrocloro (DMPD; Fogliano *et al.*, 1999). El método consistió en preparar una solución de DMPD disolviendo 290mg de este compuesto en 10ml de agua destilada, de la cual se tomó 1ml y se agregaron 100ml de amortiguador de acetato 0,1M (pH 5,25). Se agregó a la solución 0,2ml de cloruro férrico 0,05M, logrando una concentración final de 0,1mM. A esta solución se

midió la absorbancia a 505nm, lo que correspondió a la señal no inhibida ( $A_0$ ). La curva estándar de antioxidante se determinó agregando 0,2ml de diferentes concentraciones de Trolox (análogo de la vitamina E en agua), obtenidas a partir de una solución de Trolox en metanol (1mg·ml<sup>-1</sup>), a 2ml de la solución DMPD oxidada (color púrpura) se le agregaron 0,2ml de extracto. La mezcla se agitó 10min y se midió la absorbancia a 505nm ( $A_f$ ). La absorbancia de cada muestra se expresó como porcentaje de la solución del catión radical no inhibido mediante la ecuación

$$A_{505} (\%) = (1 - A_f/A_0) \times 100$$

donde  $A_0$ : absorbancia del catión radical no inhibido y  $A_f$ : absorbancia medida 10min después de haber agregado la solución estándar de Trolox o la muestra del extracto de tejido. La capacidad antioxidante se expresó en  $\mu\text{mol}$  equivalentes Trolox/100g.

*Fenoles totales.* El contenido de fenoles totales, se determinó de acuerdo con el método propuesto por Litwack (1967), para ello se tomaron 2ml de tejido a los cuales se adicionaron 0,4ml de solución extractora compuesta por metanol, cloroformo y agua (2:1:1) y se centrifugó 15min a 11400rpm. Se extrajo el sobrenadante, se adicionaron 10ml de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (10%), se incubó durante 15min a 38°C, se tomó 1ml de la solución, se agregó 1ml de reactivo Folin-Ciocalteu, se dejó reposar 15min en oscuridad y se obtuvo la absorbancia a 660nm. Los datos se expresaron en mg/100g, 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 0,5g de tejido los cuales se mezclaron con 50ml de una solución hexano: acetona:etanol (2:1:1) agitando durante 10min. Luego se agregaron 7,5ml de agua destilada

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

$$\text{Licopeno } (\mu\text{g}/100\text{g}) = \frac{A_{505\text{nm}} \times 31.2}{\text{g pulpa}}$$

*Betalainas.* Se determinaron por el método propuesto por Stintzing *et al.* (2003) con modificaciones. Se tomó 1ml de extracto al cual se agregó amortiguador Mc Ilvaine (pH 6,5) en dilución exacta para cada muestra, de forma tal, que la absorbancia a 480nm (indicaxantina) y 538nm (betanina) estuvieran entre 0,8 y 1,0. El cálculo del contenido de betanina e indicaxantina se realizó mediante la fórmula

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

donde BC: contenido de betanina/indicaxantina, A: absorbancia, FD: factor de dilución, PM: peso molecular (betanina/indicaxantina);  $\epsilon$ : coeficiente de extinción molar de betanina/indicaxantina y L: ancho de la cubeta del espectrofotómetro (1cm).

*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 en una balanza granataria con aproximación de 0,01g, una vez que fue trasladado al laboratorio.

*Índice de redondez (diámetro polar/diámetro ecuatorial).* Con un vernier digital se realizó la medición del diámetro polar (dp) y diámetro ecuatorial (de) de cada fruto, para posteriormente calcular la relación o índice diámetro polar / diámetro ecuatorial.

*Firmeza del fruto.* Se midió en la zona ecuatorial de los frutos, utilizando un texturómetro digital compact Gauge

(Mecmesin®, EEUU) con puntal en forma de cono con diámetro y altura de 9mm, 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 máximo 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  $\left( \tan^{-1} \left( \frac{b}{a} \right) \right)$  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 llevó a cabo un análisis de correlación para determinar el grado de asociación entre las variables estudiadas mediante la construcción de una matriz donde se utilizó el coeficiente de correlación de cada una de las variables. Para todos los análisis se empleó el paquete de análisis estadístico SAS Versión 9.0 (SAS, 2002).

#### Resultados y Discusión

En la Tabla I 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%. Estos valores de acidez son superiores

TABLA I  
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)	Fenoles totales (mg ác. gálico/100g)
California	0,38b	8,1b	302,4a	7,16a
Magno	0,41b	8,5ab	328,6a	8,51a
Moonset	0,41b	8,7ab	309,7a	9,72a
Triple 4	0,67a	9,2ab	322,3a	6,55a
Triple Star	0,41b	9,1ab	355,5a	10,98a
Viper	0,40b	9,5a	274,3a	9,98a
DMSH	0,25	1,3	244,9	8,51

DMSH: diferencia mínima significativa honesta. Medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

a lo encontrado por Serrano *et al.* (2010) para el 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 (Tabla I), solo se encontraron diferencias entre las variedades Viper (rojo) y California (amarillo) con 9,5 y 8,1°Brix, respectivamente. 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.* (2006) 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 reportaron entre 3,5 y 5,9°Brix (Rousseaux *et al.*, 2005; Barrett *et al.*, 2007; Casiera y Aguilar, 2008).

Con respecto a la vitamina C, no hubo diferencia entre variedades, presentando contenidos altos de ácido ascórbico, entre 274,3 y 355,5mg/100g. 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 167,5mg de ácido ascórbico/100g; además superan a variedades amarillas y rojas cultivadas en India, las cuales presentaron entre 60 y 210mg/100g (Deepa *et al.*, 2007), e incluso son mayores a los valores de referencia (140mg de ácido ascórbico/100g), 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, tales como naranja (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) en donde Franke *et al.* (2004) reportaron entre 42,1 y 62,4mg/100g, kiwi (*Actinidia chinensis* Planch.), entre 30 y 50mg/100g (Tavarini *et al.*, 2008), frambuesa (*Rubus idaeus* L.) y limón (*Citrus limon* (L.) Burm.), donde Sun *et al.* (2002) encontraron entre 37 y 46mg de ác. ascórbico/100g.

En cuanto al contenido de fenoles totales (Tabla I), a pesar de que no hubo diferencia entre variedades, con valores entre 6,55 y 10,98mg de ác. gálico/100g, estos fueron bajos en comparación a los reportados por Perucka y Materska (2007), quienes señalaron contenidos de 37,54 y 49,69mg/100g para los cultivares de pimiento dulce Red Knight y King Artur producidos en Polonia, respectivamente. Sin embargo, Blanco-Ríos *et al.* (20013) encontraron valores similares de 14,80; 12,89; 12,35 y 12,90mg/100g de ác. gálico para

variedades rojas (Orion), verdes (Mazurca), naranjas (Simpaty) y amarillas (Taranto).

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 fuera observado por Marín *et al.* (2004), quienes reportaron en pimiento cv. Vergasa cultivado en España un contenido de 1,99mg/100g de fenoles totales en estado verde, el cual disminuyó a 0,44mg/100g cuando el fruto alcanzó la madurez comercial, de color rojo; por lo tanto, el consumo de pimientos con contenido alto de fenoles debe realizarse cuando aún no han completado su madurez.

En otras investigaciones como la de Serrano *et al.* (2010), se reportó para pimiento rojo cv. Herminio una concentración de hasta 142mg de ác. gálico/100g. 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); no obstante, 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 (Tabla II), ésta coincide con lo señalado por Pennington y Fisher (2009) para pimiento, donde de acuerdo a una clasificación de frutos y vegetales según su capacidad antioxidante, los pimientos verdes y rojos se encuentran en el grupo de vegetales que tienen entre 500 y 1000µmol eq Trolox/100g, 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).

En la variedad California, que presentó el mayor valor, y en Triple Star y Triple-4, se obtuvieron niveles superiores, con 1281, 1146 y 1071µmol eq Trolox/100g, respectivamente.

TABLA II  
CAPACIDAD ANTIOXIDANTE, CONTENIDO  
DE CLOROFILA A Y CLOROFILA B, EVALUADOS  
EN FRUTOS DE SEIS VARIEDADES COMERCIALES  
DE PIMIENTO MORRÓN

Variedad	Capacidad antioxidante (µmol Trolox/100g)	Clorofila a (µg/100g)	Clorofila b (µg/100g)
California	1281a	9,91ab	21,00a
Magno	729a	9,27ab	17,91a
Moonset	844ab	8,55ab	16,68a
Triple 4	1071ab	14,43a	19,22a
Triple Star	1146ab	3,70b	10,77a
Viper	765b	8,12ab	13,10a
DMSH	502	8,93	13,73

DMSH: diferencia mínima significativa honesta. Medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

Cabe destacar que 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  $\mu\text{mol eq Trolox}/100\text{g}$ , considerando que el valor más alto fue efecto de la aplicación de una fitohormona. 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 señalaron 840  $\mu\text{mol eq Trolox}/100\text{g}$ , y que junto a la espinaca (*Spinacea oleracea* L.) con 849  $\mu\text{mol eq Trolox}/100\text{g}$  son las que presentaron los mayores valores, superando a otras hortalizas como zanahoria (*Daucus carota* L.) que reportó 44  $\mu\text{mol eq Trolox}/100\text{g}$  y chile (*Capsicum annuum* L.) con 7,62  $\mu\text{mol eq Trolox}/100\text{g}$ .

Por otra parte, al comparar la capacidad antioxidante de las variedades de pimiento estudiadas en el presente trabajo con lo reportado por Scalzo *et al.* (2005) en frutos de otras especies, la capacidad antioxidante de los pimientos fue mayor que la de manzana (*Malus pumila* Mill var. *domestica*), durazno (*Prunus persica* (L.) Batsch.) y damasco (*Prunus armeniaca* L.), que presentaron entre 86 y 258  $\mu\text{mol eq Trolox}/100\text{g}$ . Al mismo tiempo, los valores encontrados en las variedades Triple-4, Triple Star y California (1071, 1146 y 1281  $\mu\text{mol eq Trolox}/100\text{g}$ ), fueron similares a los reportados por los mismos autores en algunas variedades de fresa, las que presentaron entre 1058 y 1603  $\mu\text{mol eq Trolox}/100\text{g}$ . Esto es de importancia ya que los frutos de las distintas especies del grupo de los *berries* (frutillas) son considerados fuentes naturales de antioxidantes (Pantelidis *et al.*, 2007).

Con respecto a los contenidos de clorofilas, cabe destacar que la variedad Triple 4, de fruto rojo, presentó la mayor concentración de clorofila a, con 14,43  $\mu\text{g}/100\text{g}$ , a diferencia de Triple Star, también de color

TABLA III  
CONTENIDO CLOROFILA TOTAL, CAROTENOS Y LICOPENO EN FRUTOS DE SEIS VARIEDADES COMERCIALES DE PIMIENTO MORRÓN

Variedad	Clorofila total ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ )	Carotenos ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ )	Licopeno ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ )
California	0,16c	58,24ab	140c
Magno	0,22c	39,47b	660c
Moonset	0,19c	57,21ab	92c
Triple 4	0,63b	91,57a	5242a
Triple Star	0,71b	39,61b	2872b
Viper	1,03a	42,07b	4831a
DMSH	19,91	43,71	18,01

DMSH: diferencia mínima significativa honesta. Medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

rojo, con solo 3,70  $\mu\text{g}/100\text{g}$  (Tabla II). Al respecto, Deli *et al.* (2001) encontraron que en pimiento paprika el contenido de clorofila total disminuyó hasta niveles cercanos a cero cuando alcanzó la madurez y adquirió el color rojo. Esto coincide con los resultados encontrados en los frutos que fueron evaluados en completa madurez, ya que presentaron contenidos muy bajos de clorofila, entre 0,16 y 1,03  $\mu\text{g}/100\text{g}$  (Tabla III).

Esto, debido a que a medida que avanza la madurez del fruto ocurre una degradación de la molécula de clorofila, que genera compuestos no coloreados, lo que hace que se expresen otros pigmentos como los carotenos, los cuales pueden dar al fruto una coloración desde amarilla hasta púrpura (Borovsky y Paran, 2008). Así lo señala Deli *et al.* (2001) en pimiento paprika, que en estado verde presentó un contenido de carotenos de 19,6  $\text{mg}/100\text{g}$  ps (peso seco), mientras que cuando completó su coloración roja alcanzó los 542,9  $\text{mg}/100\text{g}$  ps.

Esto coincide con los contenidos de carotenos de las variedades evaluadas en el presente estudio, que presentaron entre 394,7 y 915,7  $\text{mg}/100\text{g}$  ps, 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  $\text{mg}/100\text{g}$  ps, 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, cuando pueden llegar a presentar 41 y 39  $\text{mg}/100\text{g}$  ps, de clorofila a y b, respectivamente.

En cuanto al licopeno, Bramley (2000) señaló que este pigmento no solo 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  $\mu\text{g}/100\text{g}$ .

TABLA IV  
CONTENIDO DE ANTOCIANINAS, BETACIANINA Y BETAXANTINA EN FRUTOS DE SEIS VARIEDADES COMERCIALES DE PIMIENTO MORRÓN

Variedad	Antocianinas (mg cianidina-3-glucósido/100g)	Betacianina (mg betanina/100g)	Betaxantina (mg indicaxantina/100g)
California	0,16c	4,14ab	3,61a
Magno	0,22c	6,13a	4,73a
Moonset	0,19c	6,14a	2,20a
Triple 4	0,63b	2,95ab	4,05a
Triple Star	0,71b	1,86ab	3,32a
Viper	1,03a	0,95b	2,47a
DMSH	0,32	4,46	4,08

\*DMSH: diferencia mínima significativa honesta. Medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

En los pimientos aquí estudiados las variedades de fruto rojo presentaron los mayores contenidos de licopeno en comparación con las variedades amarillas y anaranjadas (Tabla IV). Es así que las variedades rojas Triple-4 y Viper presentaron los mayores contenidos, que expresados en  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  ps (524 y 483) fueron superiores a lo encontrado por Navarro *et al.* (2006) en pimiento rojo cv. Orlando, que presentó 322  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ , y similares a lo reportado para jitomate comercial por Burns *et al.* (2003) en Inglaterra (522,5  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  ps).

Estas concentraciones (524 y 483  $\mu\text{g}/100\text{g}$ ) fueron incluso mayores a los valores reportados por Javanmardi y Kubota (2006) y Juárez *et al.* (2009), para jitomate comercial y silvestre (3000-5190  $\mu\text{g}/100\text{g}$ ).

En la Tabla V se presentan los contenidos de antocianinas y betalainas, donde la variedad roja, Viper, presentó la mayor concentración de antocianina, con 1,03  $\text{mg}$  de cianidina-3-glucósido/100g; sin embargo, es una concentración baja en comparación con frutos como las frutillas, donde incluso las frambuesas y grosellas amarillas presentan entre 1,3 y 3,4  $\text{mg}$  de cianidina-3-glucósido/100g (Pantelidis *et al.*, 2007).

De igual manera, se puede apreciar que los contenidos de betacianinas también son bajos en comparación a los encontrados en otras especies que se caracterizan por un contenido alto de estos pigmentos, como betabel (*Beta vulgaris* L. ssp. *vulgaris* var. *esculenta*) que alcanza entre 40 y 160  $\text{mg}$

betacianina/100g, tuna amarilla con 8,42mg indicaxantina/100g y tuna roja que presenta 5,12mg betanina/100g (Butera *et al.*, 2002; Stintzing y Carle, 2007).

En los pimientos analizados, las betacianinas no sobrepasaron los 6,14mg de betanina/100g, mientras que en las betaxantinas la mayor concentración la presentó la variedad Magno, de fruto anaranjado, con 4,73mg de indicaxantina/100g. Estos valores confirman que las betaxantinas, a pesar de ser pigmentos amarillos, no están en directa relación con el color de los frutos, sino que están en combinación con las betacianinas que otorgan coloración roja a púrpura. Cabe destacar que el contenido de betacianinas es 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 5,12mg betanina/100g, respectivamente.

En cuanto al contenido de betaxantinas no se encontraron diferencias entre variedades; no obstante, presentan menores concentraciones que las reportadas para tuna blanca y amarilla (5,86 y 8,42mg indicaxantina/100g; Butera *et al.*, 2002), lo que confirmaría que la familia *Solanaceae* no se caracteriza por presentar concentraciones altas de estos pigmentos, a diferencia de las familias *Chenopodiaceae*, *Amaranthaceae* y *Cactaceae* (Stintzing y Carle, 2007).

En la Tabla V 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. Se puede observar que 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.

Con respecto al peso y tamaño del fruto, Navarro *et al.* (2006) señalan que estas características varían en relación a su estado de madurez, debido a que el fruto una vez formado inicia su crecimiento, por lo que si es recolectado en un estado inmaduro (verde), tendrá un menor peso y tamaño que si se deja en la planta hasta que alcance un grado mayor de madurez.

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

Con respecto a la firmeza, ésta fue menor a la encontrada por Navarro *et al.* (2006) en el cv. Orlando (rojo), que al ser cosechado en madurez comercial presentó una firmeza de 3,94N·mm<sup>-1</sup>, mientras que las variedades evaluadas en este estudio reportaron valores entre 12,64 y 21,60N, lo que equivale a una firmeza entre 1,40 y 2,74N·mm<sup>-1</sup>, 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 esta 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, lo que podría disminuir 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 relación 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) observaron 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*; no obstante, 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 anthesis y permanece constante por siete semanas, para aumentar después de ocho semanas. En cuanto a la luminosidad, los frutos del cv. Domino presentaron pequeños cambios durante todo el crecimiento y desarrollo del fruto.

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, 2003).

A pesar de esto, se ha observado en algunas variedades de fruto rojo, 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, 1997; Tadesse *et al.*, 2002).

Es así como se puede observar (Tabla VI) que las variedades rojas presentaron valores de *hue* entre 31,77 y 33,49, mientras 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 contenido alto 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 y dependiendo de la variedad, el contenido de estos pigmentos disminuye, favoreciendo la expresión de pigmentos rojos y amarillos (Rajput y Parulekar, 1998).

Para determinar asociaciones entre las variables bioquímicas y los parámetros de color, se construyó una matriz de correlación (Tabla VII). Considerando como criterio que al menos un 50% de la variación de una variable esté

TABLA V  
PESO FRESCO, ÍNDICE DE REDONDEZ Y FIRMEZA DE FRUTOS DE SEIS VARIEDADES COMERCIALES DE PIMIENTO MORRÓN

Variedad	Peso fresco (g)	Índice de redondez	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 distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

TABLA VI  
LUMINOSIDAD, PUREZA DEL COLOR Y ÁNGULO DE TONO, EVALUADOS EN FRUTOS MADUROS DE SEIS 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 distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes ( $p \leq 0,05$ ).

TABLA VII  
COEFICIENTES DE CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES, PARA SEIS VARIEDADES  
COMERCIALES DE PIMIENTO MORRÓN EN BASE A 100g DE PESO FRESCO

	AC	VC	CA	CB	CT	CR	AN	AX	FT	LI	BC	BX	SST	L	C
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*
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
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
CB				1	0,93*	0,47*	-0,36	0,28	-0,17	-0,22	0,25	0,30	0,00	0,36	0,25
CT					1	0,47*	-0,29	0,23	-0,28	-0,11	0,23	0,27	0,05	0,24	0,09
CR						1	-0,07	0,42	-0,28	0,25	0,13	0,16	0,26	-0,14	-0,27
AN							1	-0,21	0,08	0,77*	-0,62*	-0,08	0,62*	-0,74*	-0,52*
AX								1	-0,20	0,01	-0,06	0,12	0,03	-0,09	-0,10
FE									1	-0,10	0,08	-0,18	-0,17	-0,16	0,07
LI										1	-0,61*	-0,15	0,65*	-0,83*	-0,82*
BC											1	0,20	-0,39	0,54*	0,41
BX												1	-0,10	0,05	0,27
SST													1	-0,44*	-0,38
L														1	0,72*
C															1
H															

AC: acidez (% de ác, cítrico), VC: vitamina C (mg ác. Ascórbico/100g), CA: clorofila a ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ ), CB: clorofila b ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ ), CT: clorofila total ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ ), CR: carotenos totales ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ ), AN: antocianinas (mg cianidina-3-glucósido/100g), AX: capacidad antioxidante ( $\mu\text{mol}$  equivalentes Trolox/100g), FT: fenoles totales (mg ác, gálico/100g), LI: licopeno ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ ), BC: betacianina (mg betanina/l), BX: betaxantina (mg indicaxantina/l), SST: sólidos solubles totales ( $^{\circ}\text{Brix}$ ), L: luminosidad, C: Croma (pureza del color), H: hue (ángulo de tono).

\* Significativo ( $p \leq 0,05$ ).

explicada por otra, se puede observar que existe una correlación positiva entre clorofila total y clorofila a (0,86), clorofila total y clorofila b (0,93) y entre el contenido de antocianinas y licopeno (0,77), mientras que entre *hue* y antocianinas es negativa (-0,82), al igual que entre *hue* y el contenido de licopeno (-0,87).

Lo anterior quiere decir que 59% de la variación del contenido de licopeno puede ser explicada por el contenido de antocianinas, y 67% de la variación en la concentración de antocianinas y 76% de la variación de licopeno, se explican por el *hue* (Gómez y Gómez, 1984).

Esta asociación entre el contenido de antocianinas y licopeno, se podría deber a un posible 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* sugiere que frutos más rojos, con menor valor de *hue*, están relacionados con un mayor contenido de antocianinas y licopeno.

Las demás variables, por su bajo coeficiente de correlación, no estarían relacionadas entre sí y por lo tanto serían independientes, tanto del color como de las otras variables.

### Conclusiones

Todas las variedades evaluadas pueden considerarse ricas en vitamina C por su concentración alta de ácido ascórbico. Las variedades California, Triple Star y Triple 4 podrían ser recomendadas por su alta capacidad antioxidante, mientras que los pimientos rojos tienen un contenido alto de licopeno.

### REFERENCIAS

- AOAC (1990) *Official Methods and Analysis*. 14<sup>th</sup> ed. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA, EEUU. 689 pp.
- Anónimo (2001) *CIELAB. Color Manager Manual*. www.linocolor.com/colorman/sp\_siela\_2.htm (Cons. 25/06/2009).
- SAS (2002) *User's guide: Statistics. Ver. 9.0*. SAS Institute Inc. Cary, NC, EEUU.
- Barrett DM, Weakley C, Diaz, JV, Watnik M (2007) Qualitative and nutritional differences in processing tomatoes grown under commercial organic and conventional production systems. *J. Food Sci.* 72: 441-451.
- Blanco RAK, Medina JLA, Gonzales AGA, Gámez MN (2013)

- Antioxidant activity of the phenolic and oily fractions of different sweet bell peppers. *J. Mex. Chem. Soc.* 57: 137-142.
- Borovsky Y, Paran I (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 PM (2000) Is lycopene beneficial to human health? *Phytochemistry* 54: 233-236.
- Burns J, Fraser PD, Bramley PM (2003) Identification and quantification of carotenoids, tocopherols and chlorophylls in commonly consumed fruits and vegetables. *Phytochemistry* 62: 939-947.
- Butera D, Tesoriere L, Di Gaudio F, Bongiorno A, Allegra M, Pintaudi AM, Kohen R, Livrea A (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 PF, Aguilar AO (2008) Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. *Agron. Col.* 26: 300-307.
- Craker LE (1971) Postharvest color promotion in cranberry with ethylene. *HortScience* 6: 137-139.
- Deepa N, Kaur, KC, George B, Singh B, Kapoor HC (2007) Antioxidant constituents in some sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes during maturity. *LWT* 40: 121-129.
- Deli J, Molnár P, Matus Z, Tóth G (2001) Carotenoid composition in the fruits of red paprika (*Capsicum annuum* var. *lycopersiforme rubrum*) during ripening; biosynthesis of carotenoids in red paprika. *J. Agric. Food Chem.* 49: 1517-1523.
- Fish WW, Oerkins VP, Collins JK (2002) A quantitative assay for lycopene that utilizes reduced volumes of organic solvents. *J. Food Anal.* 15: 309-317.
- Fogliano V, Verde V, Randazzo G, Ritieni A (1999) Method for measuring antioxidant activity and its application to monitoring the antioxidant capacity of wines. *J. Agric. Food Chem.* 47: 1035-1040.
- Franke AA, Custer LJ, Arakaki C, Murphy SP (2004) Vitamin C and flavonoid levels of fruits and vegetables consumed in Hawaii. *J. Food Compos. Anal.* 17: 1-35.
- Gómez K, Gómez A (1984) *Statistical Procedures for Agricultural Research*. Wiley. Nueva York, EEUU. 657 pp.
- Javanmardi J, Kubota C (2006) Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. *Postharv. Biol. Technol.* 41: 151-155.
- Juarez LP, Castro BR, Colinas LT, Ramirez VP, Sandoval VM, Reed DW, Cisneros ZL, King S (2009) Evaluación de calidad en frutos nativos de siete genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*). *Rev. Chapingo Ser. Horticult.* 15: 5-9.
- Kader AA (2002) Postharvest biology and technology: an overview. En Kader AA (Ed.) *Postharvest*

- Technology of Horticultural Crops*. Publ. 3311. University of California at Davis, EEUU. pp. 39-47.
- Lichtenthaler HK (1987) Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Meth. Enzymol.* 148: 350-382.
- Little AC (1975) Off on a tangent. *J. Food Sci.* 40: 410-411.
- Litwick G (1967) *Bioquímica Experimental*. Omega. Barcelona, España pp. 216-217.
- López CAF (2003) *Manual para la Preparación y Venta de Frutas y Hortalizas*. Boletín de Servicios Agrícolas N° 151. FAO. Roma, Italia. 47 pp.
- Marín, A, Ferreres F, Tomás BFA, Gil MI (2004) Characterization and quantitation of antioxidant constituents of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.). *J. Agric. Food Chem.* 52: 3861-3869.
- Mc Guire R (1992) Reporting of objective color measurements. *HortScience* 27: 1254-1255.
- Milla A (1996) Capsicum de capsula, cápsula: el pimiento. En Namesny VA (Ed.) *Pimientos: Compendios de Horticultura*. Ediciones de Horticultura. Reus, España. pp. 21-31.
- Namesny VA (1996) El pimiento en el mundo. En Namesny VA (Ed.) *Pimientos: Compendios de Horticultura*. Ediciones de Horticultura. Reus, España. pp. 13-20.
- Navarro JM, Flores P, Garrido C, Martínez V (2006) Changes in the contents of antioxidant compounds in pepper fruits at different ripening stages, as affected by salinity. *Food Chem.* 96: 66-73.
- Pantelidis GE, Vasilakakis M, Manganaris A, Diamantidis G (2007) Antioxidant capacity, phenol, anthocyanin and ascorbic acid contents in raspberries, red currants, gooseberries and Cornelian cherries. *Food Chem.* 102: 777-783.
- Pellegrini N, Serafini M, Colombi B, Del Rio D, Salvatore S, Bianchi M, Brighenti F (2003) Total antioxidant capacity of plant foods, beverages and oils consumed in Italy assessed by three different in vitro assays. *J. Nutr.* 133: 2812-2819.
- Pennington JAT, Fisher RA (2009) Classification of fruits and vegetables. *J. Food Compos. Anal.* 22S: S23-S31.
- Perkins VP, Collins JK, Pair SD, Roberts W (2001) Lycopen content differs among red-fleshed watermelon cultivars. *J. Sci. Food Agric.* 81: 983-987.
- Perucka I, Materska M (2007) Antioxidant vitamin contents of *Capsicum annuum* extracts as affected by processing and varietal factors. *Acta Sci. Pol. Technol. Alim.* 6: 67-74.
- Rajput JC, Parulekar YR (1998) Capsicum. En Salunkhe DK, Kadam SS (Eds.) *Handbook of Vegetable Science and Technology: Production, Composition, Storage and Processing*. Dekker. Nueva York, EEUU. pp. 171-201.
- Rousseaux MC, Jones CM, Adams D, Chetelat R, Bennett A, Powell A (2005) QTL analysis of fruit antioxidants in tomato using *Lycopersicon pennellii* introgression lines. *Theor. Appl. Genet.* 111: 1396-1408.
- Scalzo J, Politi A, Pellegrini N, Mezzetti B, Battino M (2005) Plant genotype affects total antioxidant capacity and phenolic contents in fruit. *Nutrition* 21: 207-213.
- Serrano M, Zapata PJ, Castillo S, Guillén F, Martínez RD, Valero D (2010) Antioxidant and nutritive constituents during sweet pepper development and ripening are enhanced by nitrophenolate treatments. *Food Chem.* 118: 497-503.
- Stintzing FC, Carle R (2003) Evaluation of colour properties and chemical quality parameters of cactus juices. *Eur. Food Res. Technol.* 216: 303-311.
- Stintzing FC, Carle R (2007) Betalains - emerging prospects for food scientists. *Trends Food Sci. Technol.* 18: 514-525.
- Sun J, Chu YF, Wu X, Liu RH (2002) Antioxidant and antiproliferative activities of common fruits. *J. Agric. Food Chem.* 50: 7449-7454.
- Tadesse T, Hewett EH, Nichols MA, Fisher KJ (2002) Changes in physicochemical attributes of sweet pepper cv. Domino during fruit growth and development. *Sci. Hort.* 93: 91-103.
- Tavarini S, Degl'Innocenti E, Remorini D, Massai R, Guidi L (2008) Antioxidant capacity, ascorbic acid, total phenols and carotenoids changes during harvest and after storage of Hayward kiwifruit. *Food Chem.* 107: 282-288.
- Wien HC (1997) Peppers. En Wien HC (Ed.) *The Physiology of Vegetable Crops*. CABI. Nueva York, EEUU. pp. 259-293.