



BIOSINTESIS, ACUMULACIÓN Y EFECTO DEL AMBIENTE SOBRE COMPUESTOS ANTIOXIDANTES DEL FRUTO DEL CULTIVO DE CHILE (*Capsicum spp.*)

BIOSYNTHESIS, ACCUMULATION AND EFFECT OF THE ENVIRONMENT ON ANTIOXIDANT COMPOUNDS IN THE FRUIT OF PEPPER CROP (*Capsicum spp.*)

Ángel López-López, Salvador Espinoza-Santana, Carlos Ceceña-Duran, Cristina Ruiz-Alvarado¹, Fidel Núñez-Ramírez*, Daniel Araiza-Zúñiga

Instituto de Ciencias Agrícolas, Universidad Autónoma de Baja California (ICA-UABC), Carretera a Delta s/n. Ejido Nuevo León, 21705, Mexicali, Baja California, México

RESUMEN

El fruto del chile (*Capsicum spp.*) es uno de los productos agrícolas alimenticios más populares que existe en el mundo. Posee diversos usos y formas que han sido utilizados desde tiempos muy remotos. Por su nivel de consumo el fruto del chile figura como uno de las Solanáceas más importantes. Un interés creciente ha resurgido en estudiar sus propiedades químico-alimenticias, ya que contiene grandes cantidades de compuestos antioxidantes de gran importancia en la prevención de enfermedades crónicas y degenerativas. Entre estos compuestos se encuentran los carotenoides, el ácido ascórbico y los capsaicinoides. Sin embargo, la cantidad de estos compuestos, varía notablemente entre especies de *Capsicum* e incluso entre variedades. La edad del fruto a la cosecha, el ambiente de desarrollo de la planta, manejo agronómico y vida post-cosecha, son algunos de los factores que influyen en los contenidos y concentraciones de estos compuestos en el fruto del chile. La presente revisión se realizó con el objetivo de explorar aspectos importantes sobre la biosíntesis, acumulación y efecto del ambiente sobre los contenidos de compuestos antioxidantes en frutos del cultivo de chile.

Palabras clave: Carotenoides, ácido ascórbico, capsaicina, chile, compuestos nutricionales.

ABSTRACT

The pepper fruit (*Capsicum spp.*) is one of the most popular nutritional agricultural products in the world. It has a diversity of uses and presentations since remote times. Due to its consumption level, the pepper fruit appears like one of the most important member of the Solanaceae family. The high amount of antioxidant compounds present resulted in a recent resurging interest in studying its nutritional and chemical properties for the prevention of chronic and degenerative diseases. These compounds include carotenoids, ascorbic acid and capsaicinoids. However, the amount of these compounds is remarkably variable among *Capsicum* species and even between varieties. The fruit age at harvest time, environmental conditions during the plant growth, agronomic management and post-harvest handling, are some of the factors that influence contents and concentrations of these compounds in pepper fruit. This review aims on exploring

important aspects of the biosynthesis, accumulation and environment effect on contents of antioxidant compounds in pepper fruit.

Keywords: Carotenoids, ascorbic acid, capsaicin, pepper, nutritional compounds.

INTRODUCCIÓN

El chile es uno de los frutos alimenticios más populares que han sido utilizados desde tiempos muy remotos. Es un fruto originario de la región Central de América y México (Andrews, 1984), generalmente es un cultivo producido a cielo abierto en regiones de clima cálido-tropical, y bajo condiciones protegidas en partes gélidas del mundo. Varias especies del género *Capsicum* han sido cultivadas significando un importante papel en el comercio y la agricultura (Smith *et al.*, 1987). Por su nivel de consumo *C. annuum* figura como la especie más importante, integrado por frutos de muchas formas colores y tamaños, así como maneras de consumo (fresco, seco, molido y salsa). Otras especies de mediano consumo son *C. frutescens* y *C. chinense*, los cuales son frutos pequeños caracterizados por su pungencia y con utilización principal como salsas. Por otro lado, *C. baccatum* y *C. puberulum*, son frutos de variadas formas, y de menor consumo sin ser considerablemente distribuidos (Andrews, 1984). Además de su característico sabor pungente el fruto de chile es de importancia nutricional en la dieta humana, ya que contiene diversas propiedades alimenticias precursoras de la salud preventiva, entre las que destacan su gran contenido de carotenoides, su riqueza en ácido ascórbico (Vitamina C) y capsaicinoides (Jarret *et al.*, 2009). Recientemente existe interés en cuantificar algunos constituyentes antioxidantes de frutas y vegetales por potencial funcionalidad contra varias enfermedades entre las que destacan la diabetes, cáncer, enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas como el Alzheimer (Kaur y Kapoor, 2001). Diversos estudios se han realizado con el fin de identificar las cantidades existentes de éstos compuestos en las especies del género *Capsicum*, estos han incluido las especies así como sus diversas formas de consumo (fresco, seco y procesado), sin embargo los resultados encontrados resultan ser confusos ya que en algunas ocasiones difieren cantidades entre una misma especie. En

la búsqueda de una mejor comprensión de lo anterior, la presente revisión se realizó con el fin de investigar aspectos importantes sobre el origen, acumulación, efecto del medioambiente y manejo durante cosecha y postcosecha sobre la concentración de carotenoides, ácido ascórbico y capsaicinoides en frutos del cultivo de Chile.

Carotenoides

Los carotenoides son producidos en los plastidios (cloroplastos y cromoplastos), los cuales son orgánulos celulares eucarióticos, propios de las plantas y algas. Son una clase de pigmentos terpenoides con 40 átomos de carbono, derivados biosintéticamente a partir de dos unidades de geranil-geranil-pirofosfato (McGarvey y Croteau, 1995). La enzima fitoeno-sintasa, cataliza la condensación de dos moléculas de geranil-geranil-pirofosfato en pre-fitoeno-pirofosfato, para convertirlo después en fitoeno. Una serie de reacciones de desaturación son llevadas a cabo en las que el resultado es la formación de licopeno, el cual es convertido a su vez en uno de los más importantes carotenoides, el β -Caroteno (Bartley y Scolnik, 1995).

Los carotenoides en su mayoría son solventes apolares y de coloración que oscilan entre el amarillo y el rojo. Se distinguen dos grupos de los cuales uno contiene carbono e hidrógeno y el otro contiene además oxígeno. Los primeros identificados como carotenos y los segundos conocidos como xantofilas (Paiva y Russel, 1999). Los carotenoides producidos en los cloroplastos, se encargan de absorber la luz en la región azul del espectro (400-600nm) y sirven como fotoprotectores de algunas reacciones fotooxidativas. En cambio los producidos en los cromoplastos son los responsables del color de los pétalos de las flores, frutas y algunas raíces (Bartley y Scolnik, 1995).

Los contenidos carotenoides en frutos de Chile, varían en composición y concentración de acuerdo a su estado de madurez, diferencias genéticas y condiciones ambientales en las que se desarrolla la planta. La Tabla 1, presenta variabilidad en las concentraciones de carotenoides en diversos tipos de Chile. En ella se aprecian valores en el rango de 994.7 a los 6.76 mg 100g⁻¹ peso seco (PS), dependiendo de la variedad o color en que se ha cosechado. Lo mismo sucede con el β -caroteno en el cual los valores fluctúan entre los 88, 429 y 800 μ g 100g⁻¹ PS.

Tabla 1. Caracterización del fruto de Chile de acuerdo a su variedad, color, contenido de carotenoides totales y β -caroteno.

Table 1. Characterization of pepper fruit according to variety, color, total carotenoids and β -carotene.

Varietal/type	Color	Carotenoids totales (mg 100g ⁻¹ PS)	β -caroteno (μ g 100g ⁻¹ PS)	Referencia
Paprika	Rojo	994.71	88,429	Deli <i>et al.</i> , 1996
730 F1	Rojo	239.00	12,030	Topuz y Ozdemir, 2007
1241 F1	Rojo	231.00	12,450	Topuz y Ozdemir, 2007
Amazon F1	Rojo	181.00	8,390	Topuz y Ozdemir, 2007
Serademre 8	Rojo	168.00	6,950	Topuz y Ozdemir, 2007
Kusak 295 F1	Rojo	144.00	7,290	Topuz y Ozdemir, 2007
Ancho	Rojo (Seco)	7.52	1,571	Collera-Zuñiga <i>et al.</i> , 2005
Mulato	Rojo (Seco)	7.24	1,070	Collera-Zuñiga <i>et al.</i> , 2005
Guajillo	Rojo (Seco)	6.76	1,210	Collera-Zuñiga <i>et al.</i> , 2005
Bell Anupam	Rojo	132.00	5,200	Deepa <i>et al.</i> , 2007
Bell HA-1195	Rojo	78.00	6,200	Deepa <i>et al.</i> , 2007
Bell Mazurca	Rojo	75.00	950	Deepa <i>et al.</i> , 2007
Bell HA 1038	Rojo	62.00	800	Deepa <i>et al.</i> , 2007
Bell Parker	Rojo	56.00	3,700	Deepa <i>et al.</i> , 2007
Bell Torkel	Rojo	54.00	6,000	Deepa <i>et al.</i> , 2007
Bell Tanvi	Amarillo	40.00	2,200	Deepa <i>et al.</i> , 2007
Bell Golden Summer	Amarillo	38.00	2,250	Deepa <i>et al.</i> , 2007
Bell Fiesta	Amarillo	35.00	1,400	Deepa <i>et al.</i> , 2007
Bell Flamingo	Rojo	12.00	4,500	Deepa <i>et al.</i> , 2007

En un estudio realizado por Hornero-Méndez *et al.* (2000), se identificaron los cambios en la biosíntesis de once carotenoides de cinco chiles rojos (*Capsicum annuum* L.) durante el proceso de maduración. La cantidad de carotenoides totales aumentó conforme la fruta maduró hasta alcanzar cantidades alrededor de 900 mg 100g⁻¹ PS (Figura 1). Sin embargo, en todos los cultivares solo dos de once carotenoides evaluados (los de menor concentración: luteína y neoxantina), disminuyeron progresivamente conforme la fruta maduró y cambió a color rojo hasta alcanzar solo trazas (Figura 2), los nueve restantes se incrementaron progresivamente en forma lineal. Resultados similares se encontraron por Deli *et al.* (1996) en el cultivo de chile (*Capsicum annuum*) cv. Szentesi kosszarvú, al estudiarlo durante su proceso de maduración.

Para el caso del efecto de las condiciones ambientales sobre la calidad en chile, Lee *et al.* (2005) realizaron análisis de flavonoides y carotenoides a una gran variedad de chiles (bell, jalapeño, "hot wax", "sweet wax", ancho, anaheim y habanero) cultivados bajo diferentes ambientes (cielo abierto e

invernadero) en tres ubicaciones geográficas en Texas USA. Ellos identificaron diferencias significativas en los compuestos bioquímicos de acuerdo a los ambientes evaluados. Las mejores fuentes de β -carotenos para chiles crecidos bajo condiciones de invernadero fueron las determinadas en el chile tipo habanero "Fidel" y el Anaheim-C 127, con contenidos de 2,370 y 2,230 (μg 100g⁻¹ peso fresco: PF); mientras que las mismas variedades cultivadas a cielo abierto no se les detectó cantidad alguna de β -caroteno. Lee *et al.* (2005) manifestaron que la diferencia en los días a madurez que tuvieron cada tipo de chile al momento de la cosecha, así como las diferentes condiciones ambientales en las que se desarrollaron (humedad relativa y temperatura nocturnas) podrían haber influenciado en las diferencias encontradas en la acumulación de carotenoides. De igual manera, García *et al.* (2007) encontraron diferencias en la concentración de algunos carotenoides (capsorubina, capsantina, zeaxantina, β -criptoxantina y β -caroteno), al evaluar cinco variedades de chile tipo bola (paprika roja).

La bioquímica de los carotenoides en el estado postcosecha de los frutos de chile tiene especial atención para los investigadores. Se han identificado los efectos que el procesado de alimentos tiene sobre estos antioxidantes. Por ejemplo, el enlatar productos alimenticios y librarlos de oxígeno, ayuda a estabilizar estos compuestos manteniendo su concentración a través del tiempo (Klein y Kurilich, 2000). De igual forma, el cocinar productos alimenticios permite aumentar el contenido de carotenos. Boileau *et al.* (1999), mencionan que los carotenos se encuentran unidos a proteínas o a otros materiales originales (matrices celulares), los cuales al ser sometidos a altas temperaturas, liberan los carotenos, resultando finalmente en mayores concentraciones.

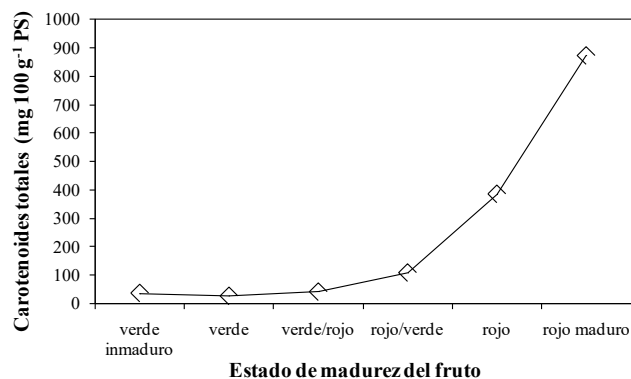


Figura 1. Evolución del contenido de carotenoides totales en cinco cultivares de chile (*Capsicum annuum* L.) de acuerdo al estado de madurez (Hornero-Méndez *et al.*, 2000).

Figure 1. Evolution of total carotenoids content in five pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.) by maturing stage (Hornero-Méndez *et al.*, 2000).

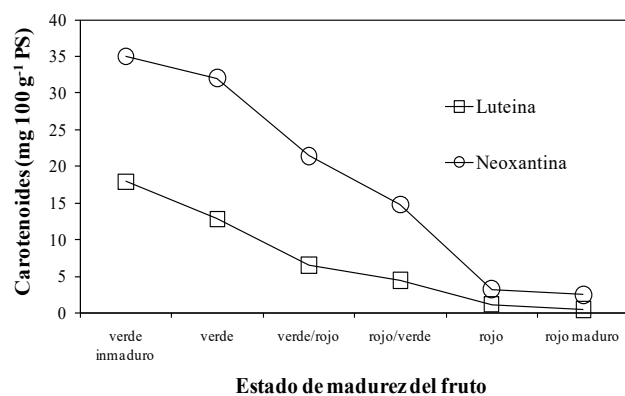


Figura 2. Evolución del contenido de luteína y neoxantina en cinco cultivares de chile (*Capsicum annuum* L.) de acuerdo al estado de madurez (Hornero-Méndez *et al.*, 2000).

Figure 2. Evolution of lutein and neoxantin content in five pepper cultivars (*Capsicum annuum* L.) by maturing stage (Hornero-Méndez *et al.*, 2000).

Ácido Ascórbico

El ácido ascórbico, vitamina C o ascorbato, es una vitamina hidrosoluble emparentada químicamente con la glucosa. Se encuentra en el citosol, cloroplastos, vacuolas, mitocondrias y paredes celulares (Rautenkrantz *et al.*, 1994). Según Smirnoff (1996) las funciones del ascorbato se dividen en cuatro categorías: i) antioxidante (singular), ya que reaccionan rápidamente con superóxidos tales como el ozono y el peróxido de hidrogeno; ii) cofactor de enzimas hidroxilasas, como las prolil y lisil-hidroxilasas, relacionadas con la síntesis de la hidroprolina y de la hidroxiprolina; iii) transporte de electrones, ya que en estudios realizados *in vitro*, funciona como donador de electrones durante la fotosíntesis y para la mitocondria; iv) síntesis de oxalato y tartaratos, ya que puede formar oxalato y tartarato, además se dice que el ascorbato es la principal fuente de tartarato en uvas. La ruta propuesta por Smirnoff y Wheeler (2000) expone que el ácido ascórbico proviene de su precursor inmediato la L-galactono-1,4-lactona y que los intermediarios envueltos son azúcares fosforilados y azúcares relacionados a nucleótidos.

Al igual que los carotenoides, las concentraciones de ácido ascórbico en plantas varían de acuerdo a diferencias genotípicas, condiciones de clima en precosecha, prácticas

culturales, métodos y madurez a cosecha, procedimientos de manejo en postcosecha (Lee y Kader, 2000), así como también varían dependiendo de la metodología analítica utilizada y si el análisis se realiza en tejido fresco o en tejido seco (Deepa *et al.*, 2007).

Los datos de la tabla 2 muestran frutos de chile de diferente color, con diversas concentraciones de ácido ascórbico. Estas concentraciones son variables dependiendo si se presentan en forma de peso fresco o de peso seco. Por ejemplo, existen amplios rangos de 2,200 a 188 mg 100 g⁻¹

Tabla 2. Caracterización del fruto de chile de acuerdo a su especie/color y contenido de ácido ascórbico.

Table 2. Characterization of pepper fruit according to specie/color and ascorbic acid content.

Especie	Ácido ascórbico (mg 100 ⁻¹)	Referencia
<i>C. annuum</i> L. var. Hungarian fresco	188.20 PS ^ε	Vega-Gálvez <i>et al.</i> , 2009
<i>C. annuum</i> L. var. Hungarian secado a 90°C	3.76 PS	Vega-Gálvez <i>et al.</i> , 2009
<i>C. annuum</i> L. (verde)	109.40 PF	Zhang y Hamauzu, 2003
<i>C. annuum</i> L. (rojo)	187.10 PF	Zhang y Hamauzu, 2003
<i>C. annuum</i> L. (amarillo)	151.50 PF	Zhang y Hamauzu, 2003
Bell Mazurka rojo (<i>C. annuum</i>)	620.00 PS	Deepa <i>et al.</i> , 2007
Bell Parker rojo (<i>C. annuum</i>)	1,200.00 PS	Deepa <i>et al.</i> , 2007
Bell Torkel rojo (<i>C. annuum</i>)	1,100.00 PS	Deepa <i>et al.</i> , 2007
Bell Anupam rojo (<i>C. annuum</i>)	1,150.00 PS	Deepa <i>et al.</i> , 2007
Bell HA-1195 rojo (<i>C. annuum</i>)	2,050.00 PS	Deepa <i>et al.</i> , 2007
Bell HA-1038 rojo (<i>C. annuum</i>)	2,200.00 PS	Deepa <i>et al.</i> , 2007
Bell Flamingo rojo (<i>C. annuum</i>)	2,000.00 PS	Deepa <i>et al.</i> , 2007
Bell Fiesta amarillo (<i>C. annuum</i>)	1,250.00 PS	Deepa <i>et al.</i> , 2007
Bell Tanvi amarillo (<i>C. annuum</i>)	1,050.00 PS	Deepa <i>et al.</i> , 2007
Bell Golden S. amarillo (<i>C. annuum</i>)	1,500.00 PS	Deepa <i>et al.</i> , 2007
730 F1 rojo (<i>C. annuum</i>)	63.10 PF	Topuz y Ozdemir, 2007
1241 F1 rojo (<i>C. annuum</i>)	64.90 PF	Topuz y Ozdemir, 2007
Amazon F1 rojo (<i>C. annuum</i>)	15.20 PF	Topuz y Ozdemir, 2007
Serademre 8 rojo (<i>C. annuum</i>)	57.50 PF	Topuz y Ozdemir, 2007
Kusak 295 F1 rojo (<i>C. annuum</i>)	25.60 PF	Topuz y Ozdemir, 2007

^εPF, PS: expresado como peso fresco o peso seco

de ácido ascórbico al evaluarse en peso seco y muy estrechos de 109 a 187 mg 100 g⁻¹ ácido en peso fresco. De igual forma frutos de color verde contienen menor cantidad de ácido ascórbico que los de color rojo o amarillo (Martínez *et al.*, 2005; Vanderslice *et al.*, 1990).

La madurez de la fruta al momento de la cosecha juega un papel importante. Cruz-Pérez *et al.* (2007) identificaron un incremento de hasta un 100% en vitamina C en fruta cosechada en estado de madurez fisiológica (76 días después de siembra DDS) comparados con frutos cosechados a edad inmadura (56 DDS), posteriormente la concentración declinó según transcurrió la edad del fruto (Figura 3). De la misma manera Yahia, *et al.* (2001), encontraron un decremento en la concentración del ácido ascórbico y un incremento en la actividad de la enzima ascórbico oxidasa, justo después de que frutos de chile bell comenzaron a madurar (cambio de color). Ellos explican que la enzima ascórbico oxidasa junto con la enzima ascorbato peroxidasa contribuyen a la oxidación del ácido ascórbico modificando el contenido del mismo dentro de las frutas.

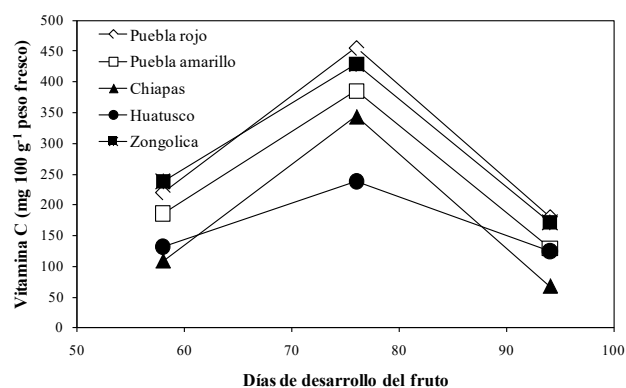


Figura 3. Evolución del contenido de vitamina C en frutos de cinco híbridos de chile manzano (*Capsicum pubescens* R y P) de acuerdo a los días después de floración (Cruz-Pérez *et al.*, 2007). (Son las iniciales de 2 botánicos que clasificaron a este tipo de chiles en América del Sur)

Figura 3. Evolution of vitamin C content in fruits of five hybrids manzano peppers (*Capsicum pubescens* R y P) by days after bloom (Cruz-Pérez *et al.*, 2007).

El tratamiento de postcosecha que reciben los frutos a consumo, tiene influencia en este parámetro de calidad. Muchos tipos de chiles son deshidratados para utilizarse como consumo (pasilla, mulato, chiltepin, pico de pájaro, etc.). En un estudio desarrollado por Vega-Gálvez *et al.* (2009), se evaluaron varias temperaturas de secado (50-90°C) en frutos rojo de chile (*Capsicum annuum* L.) sobre la concentración de ácido ascórbico. Los resultados obtenidos mostraron una degradación mayor al 90% de este compuesto químico en todas las temperaturas evaluadas. Explican los procesos oxidativos irreversibles durante el proceso de secado y posterior hidratación al hacer la medición.

Adicionalmente, Klein y Kurilich (2000) mencionan que la estabilidad del ácido ascórbico varía considerablemente en alimentos procesados y que depende de la cantidad de agua

y la cantidad de calor aplicado al envasar. Alimentos que son ricos en vitamina C, antes de ser procesados pueden llegar a perder hasta 10 o 20% de su valor cuando son expuestos a cocción o enlatado (Gregory, 1996). Lee y Howard (1999), encontraron un descenso de hasta un 50% en el contenido de ácido ascórbico de frutos de chile "Yellow Banana" al someterlos a pasteurización y enlatarlos. Después de veinte días de realizarle éste proceso, el ácido ascórbico descendió nuevamente seis veces la cantidad inicial y después se mantuvo en el tiempo.

Capsaicinoides

Los capsaicinoides son compuestos alcaloides que producen el sabor picante o pungente del chile. Son compuestos con actividad antioxidantes sobre la oxidación de lípidos diversas patologías (Henderson y Slickman, 1999). Se encuentran formados por un núcleo fenólico unido mediante un enlace amida a un ácido graso. La porción fenólica es la vainillilamina, la cual ha sido previamente formada a partir de la fenilalanina a través de la ruta de los fenilpropanoides. En cambio el ácido graso ha sido formado a partir de aminoácidos con cadena lateral ramificadas ya sean leucina o valina (Vásquez-Flota *et al.*, 2007). Se conocen más de 20 diferentes capsaicinoides de entre los cuales los que mayormente predominan son: la norcapsaicina, nor-nor-capsaicina, la homocapsaicina, la homodihidrocapsaicina, la nor-dihidrocapsaicina, la capsaicina y la dihidrocapsaicina (Tiwari *et al.*, 2005); éstos últimos dos son los responsables del 90% de la pungencia (Kosuge y Furuta, 1970).

Los capsaicinoides se sintetizan y se acumulan en el tejido placentario del fruto y eventualmente se translocan a las semillas y pericarpio, incluso en algunos cultivares se han encontrado pequeñas cantidades a las hojas y tallos (Estrada *et al.*, 2002). Varios estudios se han realizado referente a este tema, por ejemplo Canto-Flick *et al.* (2008), evaluaron el contenido de capsaicina en dieciocho accesiones de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.); ellos encontraron que la placenta contenía hasta seis veces más picor que el tejido del pericarpio. De la misma forma, Cisneros-Pineda *et al.* (2007) cuantificaron los capsaicinoides en varios tipos de chiles considerando nivel de picor y estado de madurez, ellos identificaron que la capsaicina y la dihidrocapsaicina se encontraba en mayor proporción en el tejido de la placenta que en el tejido pericarpio y en las semillas.

La cantidad de capsaicinoides está relacionado a la edad o estado fenológico en que se cosecha el fruto. Por ejemplo, existen estudios llevados a cabo por Iwai *et al.* (1979) en los que identifican la cantidad de capsaicinoides durante el crecimiento y desarrollo del fruto. Ellos explican que durante los primeros días después de la floración apenas existen trazas de este compuesto, incrementándose después en forma lineal durante el periodo de los 30 a 50 días y después encontrando un descenso hasta antes de la cosecha (Figura 4). Bernal *et al.* (1993) sugieren que el decremento en el contenido de capsaicinoides en la madurez de los frutos está asociada a la presencia de enzimas peroxidadas, hipótesis que ha sido

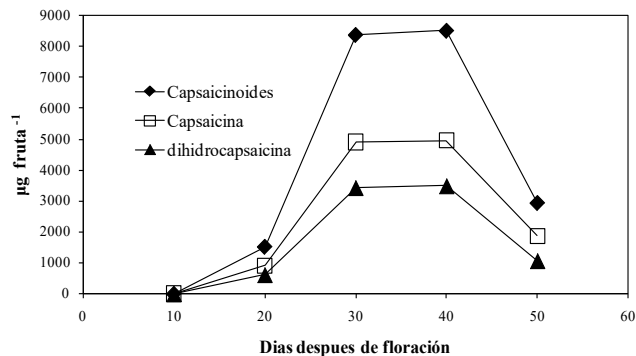


Figura 4. Evolución del contenido de capsaicinoides, capsaicina y dihidrocapsaicina de acuerdo a los días después de floración del cultivo de chile (*C. annum* cv. Karayatsubusa; Iwai *et al.*, 1979).

Figure 4. Evolution of capsaicinoids, capsaicin and dihydrocapsaicin content at different days after pepper bloom (*C. annum* cv. Karayatsubusa; Iwai *et al.*, 1979).

confirmada por Contreras-Padilla y Yahia (1998), quienes al estudiar los cambios en la concentración de capsaicinoides durante el desarrollo y maduración de frutas de tres tipos de chile asociaron la presencia activa de una enzima específica peroxidasa. Refieren que la isoenzima 6-peroxidasa oxida los compuestos fenólicos (caféico y ferúlico) precursores de la biosíntesis de capsaicina (Contreras-Padilla y Yahia, 1998).

Dentro de las diversas especies existentes de *Capsicum* existen diferencias en cuanto a su grado de picor, significando diferencias en la capacidad de acumular capsaicinoides. Por ejemplo según la Tabla 3, la especie *C. chinense* es una de las clasificadas como de mayor picor alcanzando valores de 14,423 mg kg⁻¹ PS de capsaicinoides totales (Collins *et al.*, 1995), en cambio en la variedad dulce Kusak 295 F1, alcanza un valor traza de 32.9 mg kg⁻¹ PS de capsaicinoides totales (Topuz y Ozdemir, 2007).

Algunas veces dentro de una misma especie, el grado de picor está relacionado con las condiciones de estrés determinados por el ambiente en el que se desarrolla cada planta en particular. El reporte de Harvell y Boslan (1997) menciona que se realizó un estudio con la línea Doble Haploide "CaGC 87", en el cual cinco grupos de plantas de esta línea fueron distribuidos aleatoriamente en un campo de cultivo de chile de otra variedad. Al llegar a la época de cosecha, a cada grupo se le evaluó el contenido de picor en frutos rojos maduros. Las diferencias entre los cinco grupos encontradas fueron muy pronunciadas. En orden decreciente los valores identificados fueron los siguientes: 498.80, 390.86, 363.40, 280.20 y 263.73 mg kg⁻¹ PS de capsaicinoides totales. De igual manera hallaron diferencias entre plantas de un mismo grupo. Por ejemplo valores de tres plantas del grupo número uno, mostraron cantidades variables de 640.93, 459.60 y 392.73 mg kg⁻¹ PS de capsaicinoides totales. De la misma manera, Contreras-Padilla *et al.* (1998) estudiaron el comportamiento de acumulación de capsaicina en frutos de *C. chinense* cultivados en invernadero y a cielo abierto. Los frutos de las plan-

Tabla 3. Caracterización del fruto de chile de acuerdo a su especie, color, contenido de capsaicinoides totales, capsaicina y dihidrocapsaicina.
Table 3. Characterization of pepper fruit according to specie, color, total capsaicinoids, capsaicin and dihydrocapsaicin.

Especie	Color	Capsaicinoides (mg kg PS)	Capsaicina (mg kg PS)	Dihidro-capsaicina (mg kg PS)	Referencia
Pasilla <i>C. annuum</i>	ND†	370.0	195.00	144.00	Collins <i>et al.</i> , 1995
Cascabel <i>C. annuum</i>	ND	137.0	88.00	42.00	Collins <i>et al.</i> , 1995
Cubanella <i>C. annuum</i>	ND	1,217.0	834.00	291.00	Collins <i>et al.</i> , 1995
Jalapeño <i>C. annuum</i>	ND	2,037.0	1,307.00	595.00	Collins <i>et al.</i> , 1995.
New Mexican <i>C. annuum</i>	ND	81.0	39.00	42.00	Collins <i>et al.</i> , 1995
Yellow M. <i>C. annuum</i>	ND	1,993.0	1,196.00	627.00	Collins <i>et al.</i> , 1995
<i>C. baccatum</i>	ND	1,001.0	558.00	352.00	Collins <i>et al.</i> , 1995
<i>C. cardenasi</i>	ND	2,850.0	984.00	934.00	Collins <i>et al.</i> , 1995
Habanero <i>C. chinense</i>	ND	14,423.0	10,951.00	3,002.00	Collins <i>et al.</i> , 1995
<i>C. pubescens</i>	ND	1,409.0	401.00	487.00	Collins <i>et al.</i> , 1995
730 F1	Rojo	688.1±132.6	307.70	208.00	Topuz y Ozdemir, 2007
1241 F1	Rojo	471.3±45.6	271.00	123.40	Topuz y Ozdemir, 2007
Amazon F1	Rojo	109.1±12	16.00	0.10	Topuz y Ozdemir, 2007
Serademre 8	Rojo	310.7±15.3	149.20	72.50	Topuz y Ozdemir, 2007
Kusak 295 F1	Rojo	32.9±11.3	11.00	1.70	Topuz y Ozdemir, 2007
Colorado <i>C. annuum</i>	Rojo (seco)	ND†	39.94	30.94	Moran-Bañuelos <i>et al.</i> , 2008
Amarillo <i>C. annuum</i>	Amarillo (seco)	ND	81.50	42.52	Moran-Bañuelos <i>et al.</i> , 2008
Negro <i>C. annuum</i>	Negro (seco)	ND	42.21	33.85	Moran-Bañuelos <i>et al.</i> , 2008
Mulato <i>C. annuum</i>	Rojo (seco)	ND	29.45	49.48	Moran-Bañuelos <i>et al.</i> , 2008
Habanero <i>C. chinense</i>	naranja	ND	2,438.86	1,621.23	Cázares-Sánchez <i>et al.</i> , 2005

ND: No determinado.

tas de invernadero superaron a los producidos a cielo abierto alcanzando cantidades de 195,380 y 113,040 mg kg⁻¹ PS de capsaicinoides totales, respectivamente. Por otro lado, Zewdie y Bosland (2000), encontraron una relación inversa en el incremento en el nivel de pungencia con frutos provenientes del entrenudo segundo al sexto (Figura 5).

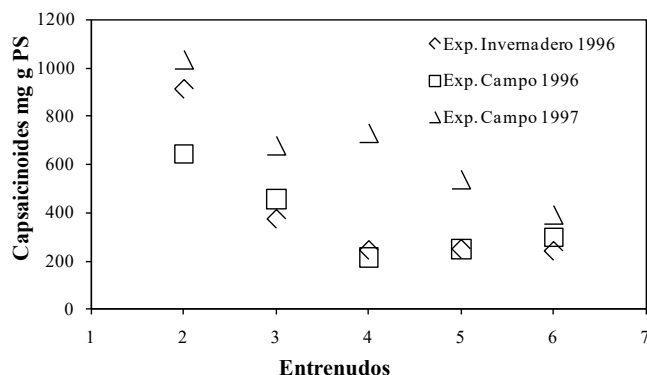


Figura 5. Relación entre el contenido de capsaicinoides y la posición de la fruta según entrenudo donde fue cosechado (Zewdie y Bosland, 2000).

Figure 5. Relationship between capsaicinoids content in fruits harvested according to the internode (Zewdie y Bosland, 2000).

El manejo agronómico que se le aplica al cultivo de chile también tiene efecto sobre la concentración de capsaicinoides, ya que muchos de los productos finales de la ruta de los fenilpropanoides (ácido clorigénico, cumarinas y ligninas) se producen en respuesta adversa a las condiciones de manejo de la planta (Vasquez-Flota *et al.*, 2007). Por ejemplo, Estrada *et al.* (2002), enfatizaron el manejo del riego del cultivo sobre el nivel de pungencia de chile "Padrón" al evaluar tres tratamientos (restringido, control y sobre-riego). Identificaron que los compuestos fenólicos (ácido clorigénico) de plantas estresadas por exceso o falta de riego, disminuían en comparación con plantas regadas óptimamente. Lo mismo sucedía con la acumulación de lignina, provocando un aumento en el picor de los frutos. Concluyeron en la posibilidad de que esta disminución podría ser debida a que estos compuestos se utilizan como precursores de la capsaicina. Sung *et al.* (2005), reforzaron la hipótesis al declarar que en plantas estresadas por agua, la actividad de la enzima fenilalanina amonio-licasa se relacionaba con una alta cantidad de capsaicina presente en la placenta de frutos "Beauty Zest".

Al igual que el manejo del agua, la nutrición del cultivo tiene efecto sobre el parámetro de picor de frutos de chile. Johnson y Decoteau (1996), estudiaron la importancia en la aportación de nitrógeno sobre la acumulación de capsaicinoides en frutas de chile Jalapeño. Ellos realizaron un estudio donde aplicaron cinco dosis de fertilizante nitrogenado y encontraron una dosis óptima de 15 mM L⁻¹ de N para alcanzar un máximo de 200 mg kg⁻¹ de capsaicina. No obstante, no hay reportes concluyentes de la posible relación entre los efectos de la nutrición potásica sobre la acumulación de capsaicina.

De los pocos reportes acerca del contenido y evolución de capsaicinoides en frutos almacenados después de la cosecha, González *et al.* (2005), estudiaron frutos almacenados a dos temperaturas (7 y 22°C) y por tiempo prolongado (2, 7, 20, 35 y 22 días). Dichos investigadores no identificaron diferencias significativas en la variable de capsaicinoides con respecto a los tratamientos evaluados. Sin embargo encontraron que los mismos frutos estudiados a esas temperaturas y después sometidos a una temperatura fija de 22°C, cinco días después mostraban un incremento en el contenido de capsaicina hasta en un 50% declinando posteriormente a los quince días.

CONCLUSIÓN

La medicina preventiva en los humanos es una alternativa a las enfermedades crónicas que en la actualidad se padecen. El fruto del chile en sus variadas especies y formas de consumo, representan una opción importante de considerar, debido a que contienen cantidades importantes de carotenoides, ácido ascórbico y capsaicinoides. De acuerdo a la literatura revisada, los carotenoides y el ácido ascórbico desarrollan funciones específicas dentro de cada tejido en el cual son producidos y almacenados. Por otra parte, los capsaicinoides son el resultado de situaciones de estrés hídrico o nutricional, a las cuales han sido sometidas las plantas. Las concentraciones de carotenoides totales se acumulan en forma exponencial conforme la fruta madura. En cambio el ácido ascórbico y los capsaicinoides se incrementan en la fruta conforme ésta madura llegando a un punto en que son degradados por enzimas específicas oxidasas. La especie de *Capsicum*, el manejo agronómico y las condiciones ambientales en las que las plantas se desarrollan tienen gran influencia sobre la acumulación de capsaicina y carotenoides dentro de los frutos. Así mismo, de gran importancia son los tratamientos postcosecha a los que se someten las frutas después de cosecharse, los cuales tienen influencia sobre el contenido, concentración y degradación de compuestos antioxidantes. El calor es uno de los tratamientos que más afectan el contenido de ácido ascórbico, disminuyendo las concentraciones en frutos según el grado de cocción al que sean sometidos. A diferencia, las concentraciones de carotenoides se incrementan por la pasteurización recibida. Por otro lado, la capsaicina es relativamente estable durante el almacenamiento después de cosecha. Estos estudios adicionales deberán enfocarse en determinar cantidades recomendables de frutas de chile que permitan prevenir eficazmente la aparición de enfermeda-

des crónico-degenerativas. Además se deberá hacer énfasis en recomendación de la especie de chile, madurez fisiológica y tratamiento postcosecha al momento de la ingesta.

REFERENCIAS

- Andrews, J. 1984. Peppers: The Domesticated Capsicums. University of Texas Press, Austin.
- Bartley, G.E. y Scolnik P.A. 1995. Plant carotenoids: pigments for photoprotection, visual attraction, and human health. *The Plant Cell*. 7:1027-1038
- Bernal, A.M., Calderón, A.A., Pedreño, M.A. Muñoz, R., Barcelo, A.R. y Merino, F. C. 1993. Capsaicin oxidation by peroxidase from *Capsicum annuum* (var. *annuum*) fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 41:1041-1044
- Boileau, T.W., Moore A.C. y Erdman J.W. 1999. Carotenoids and Vitamin A. 133-158. En: A.M. Papas (ed). *Antioxidants Status, Diet, Nutrition and Health*. CRC. Press, Boca Raton, Florida
- Canto-Flick, A., Balam-Uc, E., Bello-Bello, J.J., Lecona-Guzmán, C., Solís-Marroquin, D., Aviléz-Viñas, S., Gómez-Uc, E., López-Puc, G., Santanna-Buzzy, N. e Iglesias-Andreu, L.G. 2008. Capsaicinoids content in habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.): Hottest known cultivars. *HortScience*. 43:1344-1349
- Cázares-Sánchez, E., Ramírez-Vallejo, P., Castillo-González, F., Soto-Hernández, R.M, Rodríguez-González, M.T., y Chávez-Servia, J.L. 2005. Capsaicinoides y preferencia de uso en diferentes morfotipos de chile (*Capsicum annuum* L.) del centro-oriente de Yucatán. *Agrociencia*. 39:627-638
- Cisneros-Pineda, O., Torres-Tapia, L.W., Gutierrez-Pacheco, L.C., Contreras-Martín, F., Gonzáles-Estrada, T. y Peraza-Sánchez, S.R. 2007. Capsaicinoids quantification in chili peppers cultivated in the state of Yucatán México. *Food Chemistry*. 104:1755-1760
- Collera-Zúniga, O., Jiménez, F.G. y Gordillo, R.M. 2005. Comparative study of carotenoid composition in three mexican varieties of *Capsicum annuum* L. *Food Chemistry*. 90:109-114
- Collins M. D., Wasmund, L. M. y Bosland, P. W. 1995. Improved method for quantifying capsaicinoids in *Capsicum* using High-performance Liquid Chromatography. *Hortscience*. 30: 137-139
- Contreras-Padilla, M. y Yahia, E. M. 1998. Changes in capsaicinoids during development, maturation, and senescence of chile peppers and relation with peroxidase activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 46:2075-2079
- Cruz-Pérez, A.B., González-Hernández, V.A., Soto-Hernández, R.M., Gutierrez-Espinóza, M.A., Gardea-Bejar, A.A. y Pérez-Grajales, M. 2007. Capsaicinoides, vitamina C y heterosis durante el desarrollo del fruto de chile manzano. *Agrociencia*. 41:627-635
- Deepa, N., Kaur, C., George, B. Singh, B. y Kapoor, H.C. 2007. Antioxidant constituents in some sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) genotypes during maturity. *LWT-Food Science and Technology*. 40:121-129
- Deli, J. Matus, Z. y Tóth, G. 1996. Carotenoid composition in the fruits of *Capsicum annuum* Cv. *Szentesi Kosszarvú* during ripenings. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 44:711-716

- Estrada, B., Bernal, M.A., Días, J., Pomar, F. y Merino, F. 2002. Capsaicinoids in vegetative, organs of *Capsicum annuum* L. in relation to fruiting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50:1188-1191
- García, M.I., Lozano, M., Montero de Espinoza, V., Ayuso, M.C., Bernalte, M.J., Vidal-Aragón, M.C. y Pérez, M.M. 2007. Agronómicas características and carotenoids content of five bola-type paprika red pepper (*Capsicum annuum* L.) cultivars. *Scientia Horticulturae*. 113:202-207
- González, M., Centurion, A y Sauri, E. 2005. Influence of refrigerated storage on the quality and shelf life of "Habanero" chili peppers (*Capsicum chinense* Jacq.). *Acta Horticulturae* 682:1297-1302
- Gregory, J.F. III. 1996. Vitamins, p. 532-616. En: O.R. Fennema (Ed) *Food Chemistry*. Marcel Dekker, New York
- Harvell, K.P. y Bosland, P.W. 1997. The environment produces a significant effect on pungency of chiles. *Hortscience*. 32(7):1292
- Henderson, D.E. y A.M. Slickman. 1999. Quantitative HPLC Determination of the Antioxidant Activity of Capsaicin on the Formation of Lipid Hydroperoxides of Linoleic Acid: A Comparative Study against BHT and Melatonin. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 47: 2563–2570
- Hornero-Méndez, D., Gómez-Ladrón, R. y Minguez-Mosquera, I. 2000. Carotenoids biosynthesis changes in five red pepper (*capsicum annuum* L.) cultivars during ripening. Cultivar selection for breeding. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48: 3857-3864
- Iwai, K., Suzuki, T. y Fujiwake, H. 1979. Formation and accumulation of pungent principle of hot pepper fruits, capsaicin and its analogues, in *Capsicum annuum* var. *annuum* cv Karayatsubusa at different growth stages after flowering. *Agricultural and Biological Chemistry*. 43:2493-2498
- Jarret R.L., Berke, T., Baldwin, T.A. y Antonious, G. F. 2009. Variability for free sugars and organic acids in *Capsicum chinense*. *Chemistry & Biodiversity*. 138-145
- Johnson C.D. y Decoteau, D.R. 1996. Nitrogen and potassium fertility affects jalapeño pepper plant growth, pod yield, and pungency. *Hortscience* 31:1119-1123
- Kaur, C. y Kapoor, H.C. 2001. Antioxidants in fruits and vegetables. The millenniums health. *International Journal of Food Science and Technology*. 36:703-725
- Klein, B.P. y Kurilich, A.C. 2000. Processing effects on dietary antioxidants from plant foods. *Hortscience* 35:580-584
- Kosuge, S. y Furata, M. 1970. Studies on the pungent principle of *Capsicum*. Part XIV. Chemical constitution of the pungent principle. *Agricultural and Biological Chemistry*. 34:248–256
- Lee, Y. y Howard, L. 1999. Firmness and phytochemical losses in pasteurized yellow banana peppers (*Capsicum annuum*) as affected by calcium chloride and storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47, 700–703
- Lee, S.K. y Kader, A.A.. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and Technology*. 20:207-220
- Lee, J.J., Crosby, K.M., Pike, L.M., Yoo, K.S. y Leskovar, D.I. 2005. Impact of genetic and environmental variation on development of flavonoids and carotenoids in pepper (*Capsicum* spp.). *Scientia Horticulturae*. 106:341-352
- Martínez, S., López, M., Gonzales-Raurich, M. y Bernardo, A. 2005. The effects of ripening stage and processing systems on vitamin C content in sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 56:45-51
- McGarvey, D.J. y Croteau, R. 1995. Terpenoid metabolism. *Plant Cell*. 7:1015-1026
- Moran-Bañuelos, S.H., Aguilar-Rincón, V.H., Corona-Torres, T., Castillo-González F., Soto-Hernández, R.M. y San Miguel-Chávez, R. 2008. Capsaicinoides en chiles nativos de Puebla, México. *Agrociencia* 42:807-816
- Paiva, S.A.R. y Russel, R.M. 1999. B-Carotene and other carotenoids as antioxidants. *Journal of the American College of Nutrition*. 18: 426-433
- Rautenkanz, A.A.F., Li, L., Manchler, F. Martinoia, E. y Oertli, J.J. 1994. Transport of ascorbic and dehydroascorbic acids across protoplast and vacuole membranes isolated from barley (*Hordeum vulgare* L. cv gerbel) leaves. *Plant Physiology* 106:187-193
- Smirnoff, N. 1996. The function and metabolism of ascorbic acid in plants. *Annals of Botany* 78:661-669
- Smirnoff, N. y Wheeler, G.L. 2000. Ascorbic Acid in plants: biosynthesis and function. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*. 35(4) :291-314
- Smith, P.G., Villalon, B. y Villa, P.L. 1987. Horticultural classification of peppers grown in the United States. *Hortscience*. 22:11-13
- Sung, Y., Chang, Y. y Ting, N. 2005. Capsaicin biosynthesis in water-stressed hot pepper fruits. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*. 46:35-42
- Tiwari, A., Kaushik, M.P., Pandey, K.S. y Dangi, R.S. 2005. Adaptability and production of hottest chili variety under Gwalior agro-climatic conditions. *Current Science* 88(10):1545-4546
- Topuz, A. y Ozdemir, F. 2007. Assessment of carotenoids, capsaicinoids and ascorbic acid composition of some selected pepper cultivars (*capsicum annuum* L.) grown in Turkey. *Journal of Food Composition and Analysis*. 20:596-602
- Vanderslice, J.T., Higgs, D.J. Hayes, J.M. y Block, G. 1990. Ascorbic acid and dehydroascorbic acid content of foods-s-eaten. *Journal of Food Composition and Analysis*. 3:105-118
- Vázquez-Flota, F., Miranda-Ham, Ma. L., Monforte-González, M., Gutiérrez-Carbajal, G., Velázquez-García, C. y Nieto-Pelayo, Y. 2007. La biosíntesis de capsaicinoides, el principio picante del chile. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 30: 353–360
- Vega-Gálvez, A. Di Scala, K., Rodríguez, K., Lemús-Mondaca, R. Miranda, M. López, J. y Pérez-Won, M. 2009. Effect of air-drying temperature on physico-chemical properties, antioxidant capacity, color and total phenolic content of red pepper (*Capsicum annuum*, L. var. Hungarian). *Food Chemistry* 117:647-653
- Yahia, M.E., Contreras-Padilla M. y González-Aguilar G. 2001. Ascorbic acid content in relation to ascorbic acid oxidase activity and polyamine content in tomato and bell pepper fruits during development, maturation and senescence. *LWT- Food Science and Technology*. 34:452-457
- Zewdie, Y. y Bosland, P.W. 2000. Evaluation of genotype, environment and genotype-by-environment interaction for capsaicinoids in *Capsicum annuum* L. *Euphytica*. 111: 185-190
- Zhang, D., y Hamauzu, Y. 2003. Phenolic compounds, ascorbic acid, carotenoids and antioxidant properties of green, red and yellow bell peppers. *Food, Agriculture and Environment* 2:22-27