

Importancia nutricional de los pigmentos carotenoides

Antonio J. Meléndez-Martínez, Isabel M. Vicario, Francisco J. Heredia

Area de Nutrición y Bromatología. Facultad de Farmacia. Universidad de Sevilla. 41012 Sevilla, España

RESUMEN. Los pigmentos carotenoides son compuestos responsables de la coloración de gran número de alimentos vegetales y animales, como zanahorias, zumo de naranja, tomates, salmón y yema del huevo. Desde hace muchos años, se sabe que algunos de estos compuestos, como α y β -caroteno, así como la β -criptoxantina, son provitaminas A. No obstante, estudios recientes han puesto de manifiesto las propiedades antioxidantes de estos pigmentos, así como su eficacia en la prevención de ciertas enfermedades del ser humano, como la aterosclerosis o incluso el cáncer. Todo ello ha hecho que desde un punto de vista nutricional, el interés por estos pigmentos se haya incrementado notoriamente.
Palabras clave: Antioxidantes, carotenoides, provitamina A.

SUMMARY. Nutritional importance of carotenoid pigments. Carotenoids are responsible for the colour of a great number of both vegetable and animal foods, such as carrots, orange juice, tomato, salmon and egg yolk. It has been known for many years that some of these compounds, such as α and β -carotene, as well as β -cryptoxanthin, are provitamins A. However, recent studies have shown the antioxidant properties of these compounds and their efficiency in the prevention of certain human diseases, such as atherosclerosis or cancer. Because of all this, the interest in these compounds has increased substantially from a nutritional point of view.

Key words: Antioxidants, carotenoids, provitamin A.

INTRODUCCION

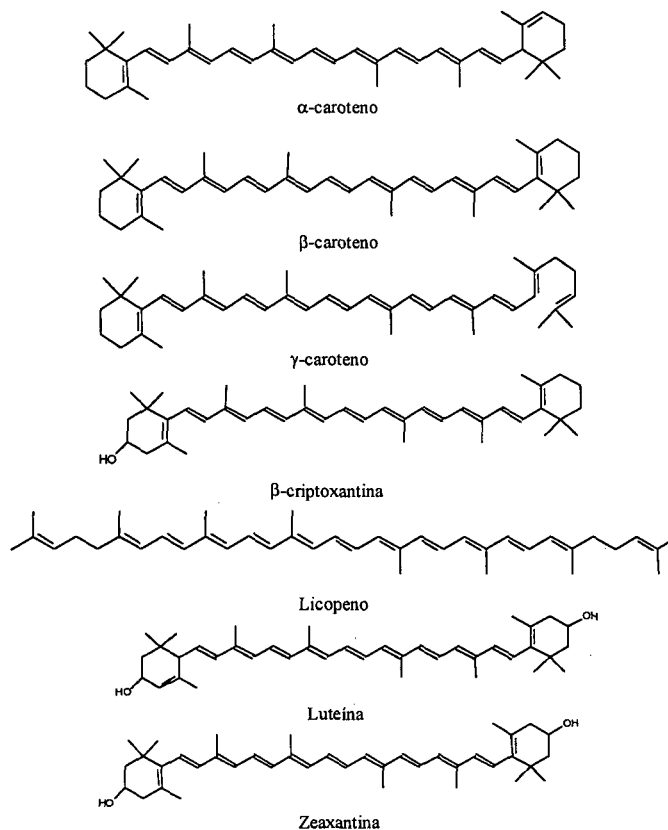
La principal función de los pigmentos carotenoides, tanto en vegetales como en bacterias, es captar energía luminosa, energía que es luego transferida a las clorofilas para ser transformada durante la fotosíntesis.

Debido a la presencia en su molécula de un cromóforo consistente total o principalmente en una cadena de dobles enlaces conjugados (Figura 1) proporcionan a frutos y verduras colores amarillos, anaranjados y rojizos. Están presentes en todos los tejidos fotosintéticos, junto con las clorofilas, así como en tejidos vegetales no fotosintéticos, como componentes de cromoplastos, que pueden ser considerados como cloroplastos degenerados. Los carotenoides siempre acompañan a la clorofila en una relación de tres a cuatro partes de clorofila por una parte de carotenoide. Estos pigmentos se encuentran en frutas y vegetales amarillos y en los cloroplastos de tejidos verdes, donde están enmascarados por la clorofila hasta que el tejido envejece. El contenido en carotenoides de las frutas aumenta durante la maduración, si bien parte de la intensificación del color se debe a la pérdida de clorofila.

Hasta hace pocos años, gran parte de la importancia nutricional de estos pigmentos ha radicado en el hecho de que algunos de ellos poseían actividad provitaminica A, si bien recientemente se ha puesto de manifiesto que la relevancia de estos compuestos va más allá, al haberse demostrado que juegan un papel importante en la prevención de diversas enfermedades degenerativas humanas.

FIGURA 1

Estructuras químicas de α - β - γ -caroteno, β -criptoxantina, licopeno, luteína y zeaxantina



Hasta hace pocos años, gran parte de la importancia nutricional de estos pigmentos ha radicado en el hecho de que algunos de ellos poseían actividad provitáminica A, si bien recientemente se ha puesto de manifiesto que la relevancia de estos compuestos va más allá, al haberse demostrado que juegan un papel importante en la prevención de diversas enfermedades degenerativas humanas.

Distribución de carotenoides en los alimentos

Los pigmentos carotenoides están ampliamente distribuidos entre los seres vivos (Tabla 1). Es en los vegetales donde se encuentran en mayor concentración y variedad, aunque también se encuentran en bacterias, algas y hongos, así como en animales, si bien éstos no pueden sintetizarlos. Se estima que en la naturaleza se producen anualmente más de 100.000.000 de toneladas de carotenoides (1). La mayor parte de esta cantidad se encuentra en forma de fucoxantina (en diversas algas) y en los tres principales carotenoides de las hojas verdes: luteína, violaxantina y neoxantina. En algunas especies, como *Lactuca sativa*, la lactucaxantina es un pigmento mayoritario (2).

TABLA 1
Distribución de carotenoides en diversos alimentos

Alimento	Carotenoides mayoritarios
Zanahoria (<i>Daucus carota</i>)	α - y β -caroteno
Naranja (<i>Citrus sinensis</i>)	Violaxantina, β -criptoxantina, luteína, zeaxantina
Mango (<i>Mangifera indica</i>)	Violaxantina, β -caroteno
Tomate (<i>Lycopersicon esculentum</i>)	Licopeno
Pimiento rojo (<i>Capsicum anuum</i>)	Capsantina, capsorrubina
Melocotón (<i>Prunus persica</i>)	β -criptoxantina, luteína
Papaya (<i>Carica papaya</i>)	β -criptoxantina, β -caroteno
Guayaba (<i>Psidium guajava</i>)	Licopeno, β -caroteno
Ciruela (<i>Spondias lutea</i>)	β -criptoxantina

La distribución de carotenoides entre los distintos grupos de plantas no presenta un patrón único. En verduras, el contenido en carotenoides sigue el modelo general de los cloroplastos de todas las plantas superiores, siendo generalmente luteína, β -caroteno, violaxantina y neoxantina, en este orden, los mayoritarios (3). En pequeñas cantidades se encuentran zeaxantina, α -caroteno, β -criptoxantina y anteraxantina. En frutos, las xantofilas suelen encontrarse en mayor proporción, aunque en algunos casos, los pigmentos mayoritarios son carotenos, como es el caso del licopeno del tomate. A veces, en ciertos frutos ocurre que algún carotenoide, además de ser mayoritario, se limita a una sola especie de plantas. Capsantina y capsorrubina se encuentran casi exclusivamente en frutos del género *Capsicum* y son los principales pigmentos que dan color al pimiento rojo (4-6).

Hay que tener en cuenta que el patrón de carotenoides en un mismo fruto varía en función de factores como la variedad y las condiciones climáticas, entre otros (7).

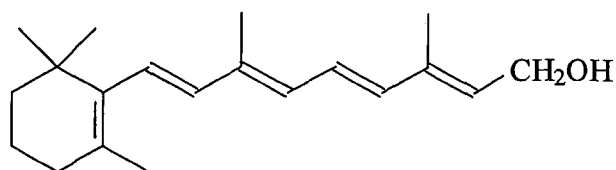
En los animales, los carotenoides son incorporados a través de la dieta y se almacenan en el tejido adiposo sin transformarse. La yema del huevo debe su color a dos xantofilas, luteína y zeaxantina, y a trazas de β -caroteno, mientras que la astaxantina es responsable del color rosado de la carne del salmón (5). En ocasiones, algunos carotenoides como la astaxantina, se unen a proteínas originando unos compuestos conocidos como carotenoproteínas, lo cual ocurre en algunos crustáceos. Las carotenoproteínas confieren a estos animales colores verdosos o azulados, si bien cuando estos complejos se desnaturalizan durante el cocinado se pone de manifiesto el color rojo del carotenoide (2).

Importancia de los carotenoides en la dieta

Además de la contribución de los carotenoides al color atractivo de las frutas y verduras, destaca, por su importancia a nivel fisiológico y dietético, la propiedad de algunos de ellos de tener actividad como provitamina A (8, 9).

La vitamina A es esencial para la visión nocturna y necesaria para mantener sanos la piel y los tejidos superficiales. Puede aportarse como tal vitamina, llamada retinol, como algunos análogos menos activos, o como sus precursores, los carotenoides. El retinol es un alcohol cíclico, insaturado, de veinte átomos de carbono, compuesto por un núcleo de β -ionona y una cadena lateral insaturada. En la molécula de retinol (Figura 2) existen cinco dobles enlaces conjugados, incluido el doble enlace del anillo de β -ionona que está conjugado con los de la cadena lateral.

FIGURA 2
Estructura del retinol



No todos los carotenoides son precursores de la vitamina A, por lo que podemos dividirlos en dos grandes grupos: provitámicos y no provitámicos. El número de carotenoides precursores de vitamina A oscila entre 50 y 60, destacando los carotenos (α -, β - y γ -caroteno) y algunas xantofilas (β -criptoxantina) (10).

La capacidad de los carotenos para actuar como provitamina A depende de la conversión en retinol por los animales, así como de la presencia de β -ionona. Los carotenos que contienen como mínimo un anillo de β -ionona

pueden convertirse en retinol en los animales. De esta forma, el carotenoide más importante al respecto es el β -caroteno, que contiene dos de estos anillos (Figura 1). El α - y el γ -caroteno (Figura 1), sin embargo, no pueden convertirse en retinol en los animales con la misma eficacia que el β -caroteno, ya que el anillo ϵ del α -caroteno no puede convertirse en el organismo en β -ionona, y la estructura abierta de la cadena del γ -caroteno no puede hacerse cíclica en los animales. Es por ello por lo que el α -caroteno y el γ -caroteno se transforman en retinol con la mitad de eficiencia que el β -caroteno. La actividad biológica del anillo de β -ionona en los carotenos cesa por la introducción de un grupo hidroxilo. La β -criptoxantina (Figura 1), con un anillo de β -ionona sustituido por un hidroxilo y el otro intacto, tiene la misma actividad provitamínica A que α - y γ -caroteno. La zeaxantina (Figura 1) tiene dos anillos de β -ionona hidroxilados, por lo que no actúa como provitamina A.

En la actualidad el término provitamina A se usa para todos los carotenoides que presentan cualitativamente actividad de β -caroteno. Nutricionalmente el carotenoide provitamínico más importante es el β -caroteno, que se definía hasta hace poco como el que tenía 1/6 de la actividad de retinol. En realidad, resulta bastante difícil hacer una estimación exacta de los equivalentes de retinol, ya que la biodisponibilidad de los carotenoides, provitamínicos o no, depende de una serie de factores, como por ejemplo el tipo de carotenoide, la matriz en la que se encuentran, el procesado del alimento, interacción con otros carotenoides así como con la grasa y la fibra, status nutricional, edad e infección por parásitos (11). Debido a todo ello, existe una importante controversia en torno a la utilidad de estos equivalentes (12). No obstante, en la actualidad, el comité que fija los niveles de ingesta de referencia (Dietary Reference Intake Committee) considera que un equivalente de retinol equivale a 12 μg de β -caroteno o a 24 μg de otros carotenoides provitamínicos (13). La molécula de β -caroteno es, en realidad, una estructura doble de retinol y, teóricamente, su división debería dar lugar a dos moléculas de retinol. La disparidad entre la estructura química y la actividad biológica del β -caroteno se debe, en parte, a la absorción incompleta y, en parte, a la falta de estequiometría de la reacción, debido a la formación de metabolitos oxidados de retinol. En relación con esto cabe decir que, por ejemplo, los carotenoides ingeridos con los alimentos se absorben en menor grado que los carotenoides puros (14), por lo que los factores de conversión van a depender de la procedencia de los carotenoides. Así, por ejemplo, se considera que 2 μg de β -caroteno en solución oleosa equivalen a 1 μg de retinol. Además, en estos pigmentos cabe la posibilidad de isomería *cis/trans*, presentando los isómeros *cis* menor actividad como provitamina A que las formas *trans*. Es, por tanto, muy importante evitar la formación de isómeros *cis* durante el

procesado de alimentos ricos en carotenoides.

Por otra parte, desde hace tiempo se viene postulando que los carotenoides actúan como potenciadores positivos de la respuesta inmune (15). En este sentido, parece ser que elevadas dosis de β -caroteno aumentan el ratio entre los linfocitos CD4 y CD8, que es muy bajo en enfermos de VIH (16).

Sin embargo, el hecho de que los carotenoides estén suscitando últimamente un gran interés se debe a una serie de estudios que demuestran su actividad antioxidante (17-20). Desde un punto de vista nutricional, se puede definir un antioxidante como aquella sustancia presente en los alimentos que disminuye significativamente los efectos adversos de especies reactivas como las del oxígeno y el nitrógeno, en condiciones fisiológicas normales en humanos (14).

La actividad antioxidante de estos pigmentos depende de una serie de factores, como su estructura química (tamaño, número de sustituyentes, configuración *cis* o *trans*, etc.), su concentración, la presión parcial de oxígeno o su interacción con otros antioxidantes, sobre todo las vitaminas C y E (21,22). En un principio estos estudios se llevaron a cabo basándose principalmente en el β -caroteno; el mecanismo de la actividad antioxidante de este compuesto está relacionado con su carácter hidrofóbico y con su capacidad para "retirar" el oxígeno singlete y desactivar radicales libres (17, 23). Se ha sugerido asimismo que el β -caroteno puede pasar de ser antioxidante a prooxidante en función de la concentración y la presión de oxígeno, entre otros factores (24-27). Existen estudios *in vitro* que apuntan que la actividad antioxidante de este compuesto es mayor que la del α -tocoferol (28,29). También se ha demostrado que otros carotenoides, como la astaxantina, responsable del color de la carne de salmón, son buenos antioxidantes (30-34). Otros carotenoides con dicha actividad son luteína, zeaxantina, cantaxantina y licopeno. En este punto, cabe comentar que en muchas ocasiones los resultados obtenidos en relación con el estudio de la actividad antioxidante de los carotenoides son poco concisos y en algunos casos contradictorios, debido a la gran variedad de métodos y experimentos diseñados. Así, por ejemplo, algunos ensayos indican que la actividad antioxidante de la astaxantina es superior a la de otros carotenoides (34), mientras que en otros estudios se llega a la conclusión inversa (21).

En un interesante ensayo en el que participaron voluntarios de cinco países, se ha puesto de manifiesto que la suplementación con carotenoides no implica un aumento de la resistencia de las lipoproteínas de baja densidad frente a la oxidación; no obstante, los resultados de dicho ensayo demostraron que el consumo de frutas y verduras ricas en carotenoides sí implicaba un aumento de resistencia frente a los procesos oxidativos. De igual forma se observó que el incremento de los niveles plasmáticos de carotenoides estaba asociado con un menor daño del ADN y una mayor actividad

reparadora (35). De forma previa, se había sugerido que el enriquecimiento de lipoproteínas de baja densidad con β -caroteno y licopeno mejora la defensa frente al oxígeno singlete. Este enriquecimiento de las proteínas de baja densidad se consiguió sometiendo a voluntarios sanos a suplementación con zumo de tomate (36). En otro estudio reciente, se ha llegado a la conclusión de que tanto los carotenoides del pimentón como el β -caroteno inhiben la peroxidación lipídica *in vivo* (37).

Todo esto ha llevado a que se investigue el papel de estos compuestos en la prevención de enfermedades degenerativas como aterosclerosis, cáncer, envejecimiento, cataratas, degeneración macular relacionada con la edad, etc. (38-41). El papel protector para las células humanas frente a la radiación ultravioleta de diversos antioxidantes como β -caroteno, α -tocoferol y ácido ascórbico ha sido evaluado, llegándose a la conclusión de que el primero es el más eficiente, probablemente debido a su localización en la membrana celular (42). Luteína y zeaxantina, dos de los carotenoides mayoritarios en el suero humano, se localizan en cantidades apreciables en la retina, protegiéndola debido a sus propiedades antioxidantes (43). En cuanto al licopeno, se ha demostrado *in vivo* que una dieta rica en tomate mantenida durante dos semanas protege a los linfocitos frente al radical dióxido de nitrógeno y al oxígeno singlete (44). De forma previa se comprobó que era más efectivo que el β -caroteno en la protección celular frente al radical dióxido de nitrógeno (45). El papel del β -caroteno en la prevención de enfermedades coronarias ha sido objeto de una serie de estudios que proporcionan unos datos a veces contradictorios, por lo que se postula que dicha prevención se debe más al consumo de alimentos ricos en β -caroteno que a dicho pigmento en particular (46). Por lo que respecta al efecto en el estatus antioxidante de fumadores, se ha comprobado que la suplementación con una combinación de β -caroteno y vitaminas C y E aumenta los niveles plasmáticos de antioxidantes y la actividad de enzimas antioxidantes en fumadores varones con hiperlipemia (47).

Hay estudios que relacionan la aparición de algunos tipos de cáncer con la carencia de ciertos carotenoides en la dieta, por lo que son considerados compuestos anticancerígenos (48-50). Varias investigaciones epidemiológicas han mostrado que el riesgo de padecer cáncer es inversamente proporcional al consumo de vegetales y frutas ricos en carotenoides. Si bien muchos de estos estudios se han centrado en el β -caroteno, otros carotenoides eficaces en la prevención de la enfermedad son β -criptoxantina, zeaxantina, astaxantina e incluso el carotenoide no coloreado fitoeno (51). En un estudio reciente, se ha demostrado una relación inversa entre el consumo de alimentos ricos en luteína (como espinaca o lechuga) y el cáncer de colon, tanto en hombres como en mujeres (52). De igual forma se ha demostrado que los carotenoides típicos

del pimiento rojo (*Capsicum annuum* L.) como capsantina y sus ésteres y capsorrubina, entre otros, son efectivos agentes antitumorales. La protección de los pigmentos carotenoides frente al cáncer y a otras enfermedades crónicas podría deberse, además de a sus propiedades antioxidantes, a otros efectos como la inhibición de la proliferación de células, mejora de la diferenciación celular, estimulación de la comunicación intercelular y filtración de la luz azul, entre otros (16).

Como se observa de lo anteriormente expuesto, en la actualidad son muchos los investigadores que trabajan en las propiedades antioxidantes y antitumorales de estos compuestos, por lo que continuamente se están aportando nuevos datos al respecto y poniéndose de manifiesto estas propiedades en otros carotenoides. Cabe señalar que la mayoría de los estudios sobre la actividad antioxidante de los carotenoides se han llevado a cabo *in vitro*, aunque en los últimos años el número de ensayos *in vivo* ha aumentado considerablemente.

Niveles de ingesta y recomendaciones

La actividad provitamínica A de algunos carotenoides, como α -caroteno, β -caroteno y β -criptoxantina, está ampliamente demostrada (8), como ya se ha comentado con anterioridad, por lo que en las ingestas recomendadas de vitamina A se consideran estos carotenoides provitamínicos. Estas ingestas recomendadas están expresadas como equivalentes de retinol (ER) (1 equivalente de retinol = 1 μ g de retinol = 12 μ g de β -caroteno = 24 μ g de α -caroteno = 24 μ g de β -criptoxantina). Se ha estimado que el consumo medio de vitamina A oscila entre los 744 y 811 equivalentes de retinol por día en los hombres y los 530 y 716 equivalentes de retinol por día en las mujeres. Considerando equivalentes de retinol, se estima que aproximadamente un 26% y un 34% de la vitamina A consumida por hombres y mujeres, respectivamente, es proporcionada por los carotenoides provitamínicos (13).

Por otro lado, las observaciones epidemiológicas parecen indicar que el consumo de alimentos ricos en carotenoides está relacionado con un menor riesgo de padecer enfermedades crónicas. Sin embargo, estas evidencias no son suficientes para establecer requerimientos para estos compuestos, ya que los efectos observados podrían deberse a otros compuestos presentes en alimentos ricos en carotenoides. No obstante se recomienda aumentar el consumo de frutas y vegetales ricos en estos pigmentos (14).

REFERENCIAS

1. Rodríguez-Amaya DB. Carotenoids and food preparation: the retention of provitamin A carotenoids in prepared, processed and stored foods. Washington, D.C.: OMNI/USAID; 1997.

2. Britton G. Carotenoids. En: Hendry GAF, Houghton JD, editores. Natural food colorants. 2. Glasgow and London: Blackie; 1996. p.197-243.
3. Britton G. Carotenoids. En: Dey PM, Harborne JB, editores. Methods in plant Biochemistry. London: Academic Press; 1991. p. 473-518.
4. Goodwin TW, Goad LJ. Carotenoids and triterpenoids. En: Hulme AC, editores. The Biochemistry of fruits and their products, Vol. 1. New York: Academic Press; 1970. p. 305-368.
5. Goodwin TW. Distribution of carotenoids. En: Goodwin TW, editores. Chemistry and Biochemistry of plant pigments. London, New York, San Francisco: Academic Press; 1976. p. 225-261.
6. Mínguez-Mosquera MI, Jarén-Galán M, Garrido-Fernández J. Color quality in paprika. J Agric Food Chem 1992;40: 2384-2388.
7. Rodríguez-Amaya DB. A guide to carotenoid analysis in foods. Washington, D.C.: ILSI Press; 2001.
8. Isler O. Carotenoids. Stuttgart: Birkhäuser Verlag Basel; 1971.
9. Simpson KL. Relative value of carotenoids as precursors of vitamin A. Proc Nutr Soc 1983;42:7-17.
10. Simpson KL, Chichester CO. Metabolism and nutritional significance of carotenoids. Ann Rev Nutr 1981; 1: 351-371.
11. Yeun K-J, Russell RM. Carotenoid bioavailability and bioconversion. Annual Review of Nutrition 2002; 22:483-504.
12. Scott KJ, Rodríguez-Amaya D. Pro-vitamin A carotenoid conversion factors: retinol equivalents. Fact or fiction? Food Chem 2000; 69: 125-127.
13. Food and Nutrition Board, Institute of Medicine. Dietary Reference Intakes for Vitamin A, Vitamin K, Arsenic, Boron, Chromium, Copper, Iodine, Iron, Manganese, Molybdenum, Nickel, Silicon, Vanadium, and Zinc. Washington, D.C.: National Academy Press; 2002.
14. Food and Nutrition Board, Institute of Medicine. Dietary reference intakes for vitamin C, vitamin E, selenium and carotenoids. Washington, D.C.: National Academy Press; 2000.
15. Hughes DA. Dietary carotenoids and human immune function. Nutrition 2001;17:823-827.
16. Olson JA. Carotenoids and human health. Arch Latinoamer Nutr 1999;49(1-S):7-11.
17. Palozza P, Krinsky NI. Antioxidant effects of carotenoids in vivo and in vitro. Methods Enzymol 1992;213:403-420.
18. Tsuchiya M, Scita G, Freisleben HJ, Kagan VE, Packer L. Antioxidant radical scavenging activity of carotenoids and retinoids as compared to α -tocopherol. Methods Enzymol 1992; 213:460-472.
19. Mortensen A, Skibsted L. Importance of carotenoid structure in radical-scavenging reactions. J Agric Food Chem 1997; 45:2970-2977.
20. Beutner S, Bloedorn B, Frixel S, Hernández Blanco I, Hoffman T, Martin H-D, Mayer B, Noack P, Ruck C, Schmidt M, Schülke I, Sell S, Ernst H, Haremza S, Seybold G, Sies H, Stahl W, Walsh R. Quantitative assesment of antioxidant properties of natural colorants and phytochemicals: carotenoids, flavonoids, phenols and indigoids. The role of β -carotene in antioxidant functions. J Sci Food and Agric 2001; 81: 559-568.
21. Woodall AA, Lee SW, Weesie RJ, Jackson MJ, Britton G. Oxidation of carotenoids by free radicals: relationship between structure and reactivity. Biochim Biophys Acta 1997;1336: 33-42.
22. Olatunde Farombi E, Britton G. Antioxidant activity of palm oil carotenes in organic solution: effects of structure and chemical reactivity. Food Chem 1999; 64:315-321.
23. Burton GW. Antioxidant action of carotenoids. J Nutr 1989; 119:109-111.
24. Polyakov NE, Leshina TV, Konovalova TA, Kispert LD. Carotenoids as scavengers of free radicals in a fenton reaction: antioxidants or pro-oxidants? Free Radical Biology & Medicine 2001;31(3):398-404.
25. Young AJ, Lowe GM. Antioxidant and prooxidant properties of carotenoids. Arch Biochem Biophysics 2001; 385(1):20-27.
26. Martin H-D, Paust J, Ruck C, Schmidt M, Sies H, Stahl W, Walsh R. En route to a quantitative assessment of carotenoid antioxidant and prooxidant function. 1st International Congress PFT; Sevilla. 1999;163-167.
27. Palozza P. Prooxidant actions of carotenoids in biologic systems. Nutr Rev 1998; 56: 257-265.
28. Jialal I, Norkus EP, Cristol L, Grundy SM. β -carotene inhibits the oxidative modification of low density lipoproteins. Biochim Biophys Acta 1991;1086:134-138.
29. Nakagawa K, Fujimoto K, Miyazawa T. β -carotene as a high-potency antioxidant to prevent the formation of phospholipid hydroperoxides in red blood cells of mice. Biochim Biophys Acta 1996;1299:110-116.
30. Tanaka T, Makita H, Ohnishi M, Mori H, Satoh K, Hara A. Chemoprevention of rat oral carcinogenesis by naturally occurring xanthophylls, astaxanthin and canthaxanthin. Cancer Res 1995;55:4059-4064.
31. Johnson EA. An astaxanthin from microbiological sources. Crit Rev Biotechnol 1995;11:297-326.
32. Kobayashi M, Kakizono T, Nishio N, Nagui S, Kurimura Y, Tsuji Y. Antioxidant role of astaxanthin in the green alga *Haematococcus pluvialis*. Appl Microbiol Biotechnol 1997; 48:351-356.
33. Miki W. Biological functions and activities of animal carotenoids. Pure Appl Chem 1991;63:141-146.
34. Naguib YMA. Antioxidant activities of astaxanthin and related carotenoids. J Agric Food Chem 2000; 48:1150-1154.
35. Southon S. Increased fruit and vegetable consumption within the EU: potential health benefits. Food Research International 2000;33:211-217.
36. Oshima S, Ojima F, Sakamofu H, Ishiguro Y, Terao J. Supplementation with carotenoids inhibits singlet oxygen-mediated oxidation of human plasma low-density lipoprotein. J Agric Food Chem 1996;44:2306-2309.
37. Seppanen CM, Csallany AS. The effect of paprika carotenoids on *in vivo* lipid peroxidation measured by urinary excretion of secondary oxidation products. Nutrition Res 2002; 22: 1055-1065.
38. Giovanucci E. Tomatoes, tomato-based products, lycopene, and cancer: Review of the epidemiologic literature. J Natl Cancer Inst 1999; 91: 317-331.
39. Halliwell B. Antioxidants and human disease: A general introduction. Nutr Rev 1997; 55:544-552.

40. Rice-Evans CA, Burdon RH. Free radical damage and its control. Amsterdam: Elsevier Science B.V.;1994.
41. Mathews-Roth M. Recent progress in the medical applications of carotenoids. *Pure Appl Chem* 1991;63:147-156.
42. Böhm F, Edge R, Lange L, Truscott TG. Enhanced protection of human cells against ultraviolet light by antioxidant combinations involving dietary carotenoids. *J Photochem Photob B: Biology* 1998;44:211-215.
43. Snodderly DM. Evidence for protection against age-related macular degeneration by carotenoids and antioxidant vitamins. *Amer J Clin Nutr* 1995; 62:1448S-61S.
44. Böhm F, Edge R, Burke M, Truscott TG. Dietary uptake of lycopene protects human cells from single oxygen and nitrogen dioxide. ROS components from cigarette smoke. *J Photochem Photob B: Biology* 2001; 64: 176-178.
45. Böhm F, Tinkler JH, Truscott TG. Carotenoids protect against cell membrane damage by the nitrogen dioxide radical. *Nature Med* 1995;1: 98-99.
46. Tavani A, La Vecchia C. b-carotene and risk of coronary heart disease. A review of observational and intervention studies. *Biomed & Pharmacother* 1999;53:409-416.
47. Chao JCI, Huang C-H, Wu S-J, Yang SC, Chang N-C, Shieh M-J, Lo PN. Effects of b-carotene, vitamin C and E on antioxidant status in hyperlipidemic smokers. *J Nutr Biochem* 2002;13:427-434.
48. Bendich A. Symposium conclusions: biological actions of carotenoids. *J Nutr* 1989;119:135-136.
49. Krinsky NI. Carotenoids and cancer in animal models. *J Nutr* 1989;119:123-126.
50. Ziegler RG. A review of epidemiologic evidence that carotenoids reduce the risk of cancer. *J Nutr* 1989;119:116-122.
51. Nishino H, Tokuda H, Satomi Y, Masuda M, Bu P, Onozuka M, Yamaguchi S, Okuda Y, Takayasu J, Tsuruta J, Okuda M, Ichiishi E, Murakoshi M, Kato T, Misawa N, Narisawa T, Takasuka N, Yano M. Cancer prevention by carotenoids. *Pure Appl Chem* 1999; 71(12): 2273-2278.
52. Slattery M, Benson J, Curtin K, Ma K-N, Schaeffer D, Potter JD. Carotenoids and colon cancer. *Amer J Clin Nutr* 2000; 71: 575-582.
53. Maoka T, Mochida K, Kozuka M, Ito Y, Fujiwara Y, Hashimoto K, Enjo F, Ogata M, Nobukuni Y, Tokuda H, Nishino H. Cancer chemopreventive activity of carotenoids in the fruits of red paprika *Capsicum annuum* L. *Cancer Letters* 2001; 172: 103-109.

Recibido: 14-08-2003

Aceptado: 14-05-2004