



OMNI

CAROTENOIDES Y PREPARACION DE ALIMENTOS:

**La Retención de los Carotenoides
Provitamina A en Alimentos
Preparados, Procesados y
Almacenados**

por Delia B. Rodriguez-Amaya, Ph.D.



Carotenoides y Preparación de Alimentos: La Retención de los Carotenoides Provitamina A en Alimentos Preparados, Procesados y Almacenados

por

Delia B. Rodriguez-Amaya, Ph.D.

Departamento de Ciências de Alimentos

Faculdade de Engenharia de Alimentos

Universidade Estadual de Campinas

C.P. 6121, 13083-970 Campinas, SP., Brasil

Primera Impresión en Inglés: Enero 1997

Impreso en Español: Diciembre 1999



This publication was made possible through support provided by the Office of Health and Nutrition, Bureau for Global Programs, Field Support and Research, U.S. Agency for International Development, under the terms of Contract no. HRN-5122-C-00-3025-00. The opinions expressed herein are those of the author(s) and do not necessarily reflect the views of the U.S. Agency for International Development.

John Snow, Inc./OMNI Project, 1997

La versión en español fue preparada por el Prof. Saturnino de Pablo, Coordinador del Centro Sub-Regional LATINFOODS para América del Sur, SAFOODS, Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos (INTA), Universidad de Chile, Macul 5540, Casilla 138-11, Santiago, Chile; Teléfono: (56-2) 678 1431; Fax: (56-2) 2214030; CE: sdepablo@uec.inta.uchile.cl

Apoyo financiero parcial para la traducción e impresión fue proporcionado por la Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos a través del acuerdo de cooperación HRN-5122-A-00-3046-00, el Instituto Internacional de Ciencias de la Vida, ILSI, y Laboratorios Roche.

INDICE

Agradecimientos.....	v
Introducción	1
Propiedades, Funciones y Acciones de los Carotenoides.....	5
Dificultades en Medir los Niveles de Provitaminas A.....	9
Fuentes Alimentarias Importantes de Provitaminas A	13
Vegetales con Hojas	13
Cultivos de Raíces.....	21
Calabazas y Zapallos.....	22
Frutas.....	23
Aceites de Palma	24
Maduración y Cambios Post-Cosecha en los Carotenoides	27
Niveles de Carotenoides durante la Maduración	30
Carotenogénesis Post-Cosecha.....	33
Evaluando la Retención de Provitamina A.....	37
Efectos del Procesamiento Casero sobre el Contenido de Provitamina A de los Alimentos	39
Cocción	40
Secado	49
Efecto del Procesamiento Industrial sobre el Contenido de Provitamina A de los Alimentos	53
Estabilidad de las Provitaminas A durante el Almacenamiento de Alimentos Procesados	65
Efecto del Procesamiento/Cocción sobre la Biodisponibilidad de la Provitamina A ...	73
Consideraciones Finales y Recomendaciones para los Encargados de Programas	77
Necesidades de Investigación	81
Referencias	83

Figuras

Figura 1: Propiedades Físicas y Químicas Importantes de los Carotenoides	5
Figura 2: Funciones o Acciones que Promueven la Salud Atribuidas a los Carotenoides	8

Tablas

Tabla 1: Estructuras y Características de los Carotenos Comunes en los Alimentos	2
Tabla 2: Estructuras y Características de las Xantofilas Comunes en los Alimentos.....	3
Tabla 3: Bioactividades Relativas de Algunas Provitaminas A.....	7
Tabla 4: Fuentes Importantes de Provitamina A en Diferentes Países.....	13
Tabla 5: Contenido de Provitamina A ($\mu\text{g/g}$) del Aceite de Palma	25
Tabla 6: Niveles de Provitamina A en Algunas Frutas y Vegetales Frutales de acuerdo al Grado de Maduración.....	27
Tabla 7: Retención de Provitaminas A en Frutas Intactas y Vegetales Durante el Almacenamiento Post-cosecha.....	34
Tabla 8: Retención de β -caroteno Durante el Procesamiento Casero en Diferentes Países	40
Tabla 9: Comparación de la Retención de β -caroteno en Métodos de Cocción de la Comunidad de Indonesia Simulados en el Laboratorio y en Métodos Modificados.....	47
Tabla 10: Retención de β -caroteno de Aceite de Palma Cruda en Diferentes Alimentos Cocidos	49
Tabla 11: Retención de β -caroteno Durante el Secado Casero.....	51
Tabla 12: Comparación de la Actividad de Vitamina A de Alimentos Seleccionados Secados Directamente al Sol y en Secadores Solares.	51
Tabla 13: Retención de Provitaminas A en Planta Piloto o en el Procesamiento Industrial.....	54
Tabla 14: Retención de Carotenoides Provitamina A Durante el Almacenamiento de Alimentos Procesados	66

AGRADECIMIENTOS

La autora desea expresar su sincero agradecimiento a los Drs. Frances Davidson, Penélope Nestel, Vinodini Reddy, Samson Tsou, Emorn Wasantwisut, Tim Quick e Ian Darnton-Hill por sus valiosos comentarios, críticas y sugerencias. En especial, agradecer al Dr. Frances Davidson quien reconoció la necesidad de compilar la información disponible con el fin de ayudar a los encargados de programas a comprender de una mejor manera la complejidad de los aspectos que rodean la contribución de los carotenoides a la ingesta de vitamina A. Un agradecimiento especial a la Dra. Penélope Nestel quien invitó a la autora a escribir este documento y por su persistencia hasta completarlo.

El texto en inglés fue preparado por Marcos Antonio de Castro y editado por Lisa Van Wagner, formateado por Stacy Swartwood y el diseño de la portada realizado por Drew Banks, a quienes agradezco sus sugerencias. También agradecer a Benedict Tisa y al equipo de comunicaciones de Oportunidades para Intervenciones con Micronutrientes (OMNI).

La autora también agradece a las agencias de financiamiento brasileñas FAPESP, CNPq y FINEP por sus grants de investigación y becas, los cuales le permitieron adquirir conocimiento y experiencia de primera línea sobre los carotenoides en los alimentos.

INTRODUCCION

Los carotenoides han atraído por más de un siglo el interés de investigadores de diferentes áreas del conocimiento incluyendo la química, bioquímica, biología, ciencia y tecnología de los alimentos, medicina, farmacia y nutrición. Y estos fascinantes compuestos continúan siendo investigados profusamente. Los carotenoides son pigmentos naturales ampliamente distribuidos, responsables del color amarillo, naranja y rojo de las frutas, raíces, flores, pescados, invertebrados y pájaros. Los carotenoides ocurren invariablemente en los cloroplastos de las plantas superiores, aunque en este tejido fotosintético su color está enmascarado por el de la clorofila. También se encuentran en las algas, bacterias, hongos y levaduras. Se estima que la naturaleza produce aproximadamente 100 millones de toneladas de carotenoides al año.

La estructura básica de los carotenoides es un tetraterpeno de 40 carbonos, simétrico y lineal formado a partir de ocho unidades isoprenoides de 5 carbonos unidas de manera tal que el orden se invierte al centro. Este esqueleto básico puede modificarse de varias maneras como por ejemplo por hidrogenación, dehidrogenación, ciclación, migración del doble enlace, acortamiento o extensión de la cadena, reordenamiento, isomerización, introducción de funciones oxigenadas o por combinaciones de estos procesos, dando como resultado una gran diversidad de estructuras. Se han aislado y caracterizado más de 600 carotenoides que ocurren naturalmente. El número de carotenoides hasta ahora encontrados en los alimentos es mucho menor; sin embargo, la composición de los carotenoides de un alimento dado puede ser bastante compleja.

Los carotenoides hidrocarbonados se denominan colectivamente como carotenos (Tabla 1); aquellos que contienen oxígeno se denominan xantofilas (Tabla 2). Las funciones oxigenadas más comunes son los grupos hidroxilo (OH) y epoxi (epóxidos 5,6- ó 5,8-). También se encuentran los grupos aldehído (CHO), ceto (C=O), carboxi (CO₂H), carbometoxi (CO₂Me) y metoxi (OMe).

Los carotenoides, ya sea carotenos o xantofilas, pueden ser acíclicos (ej. fitoflueno, ξ -caroteno, licopeno), monocíclicos o bicíclicos. La ciclación ocurre en uno o ambos extremos de la molécula, formando uno o dos anillos β de seis miembros (a veces denominados β -ionona) o anillos ϵ (algunas veces denominados α -ionona). Así, el monocíclico γ -caroteno tiene un anillo β mientras los bicíclicos β -caroteno, β -criptoxantina, zeaxantina y astaxantina tienen dos de estos anillos. Los bicíclicos α -caroteno y luteína tienen cada uno un anillo β y un anillo ϵ .

Tabla 1: Estructuras y Características de los Carotenos Comunes en los Alimentos

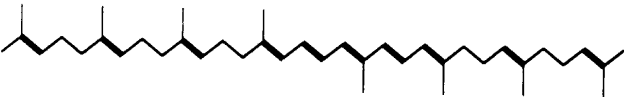
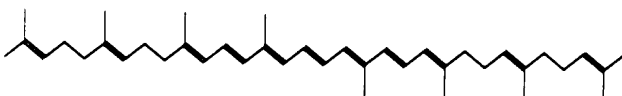
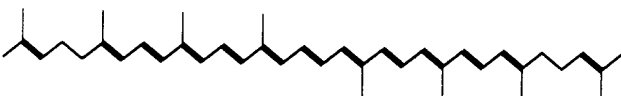
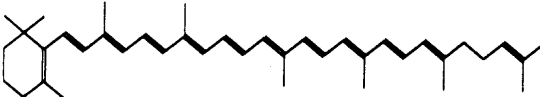
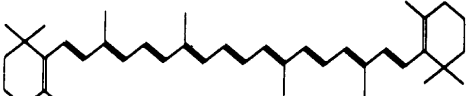
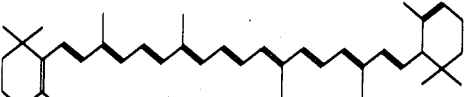
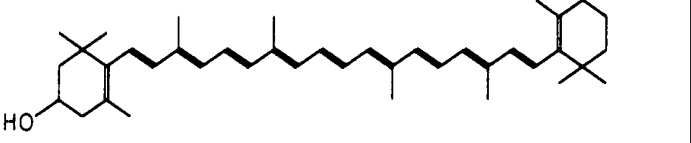
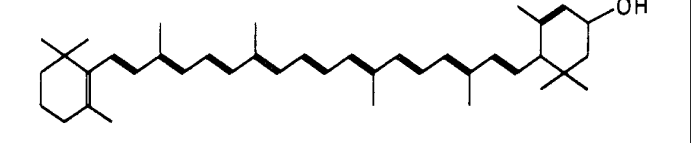
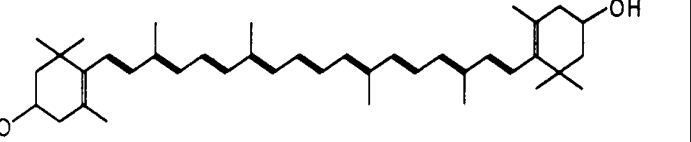
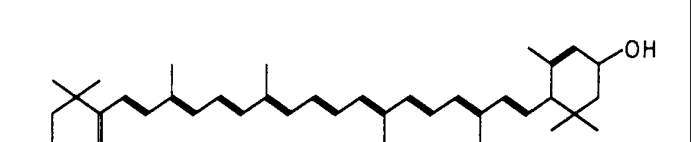
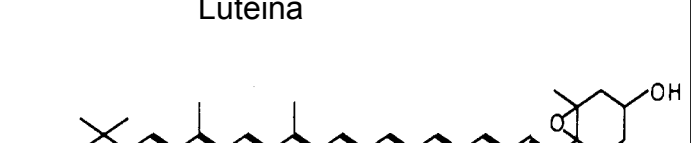
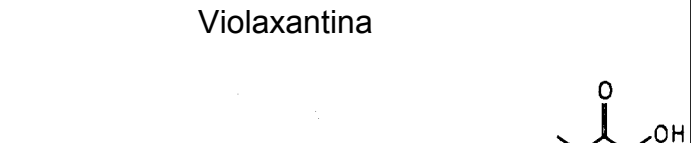
Estructura	Características
 <p data-bbox="430 556 560 588">Fitoflueno</p>	acíclico, incoloro
 <p data-bbox="430 766 576 798">ξ-Caroteno</p>	acíclico, amarillo suave
 <p data-bbox="430 1008 552 1039">Licopeno</p>	acíclico, rojo
 <p data-bbox="430 1270 576 1302">γ-Caroteno</p>	monocíclico (1 anillo β) rojo-naranja
 <p data-bbox="414 1522 560 1554">β-Caroteno</p>	bicíclico (2 anillos β) naranja
 <p data-bbox="397 1753 544 1785">α-Caroteno</p>	bicíclico (1 anillo β, 1 anillo γ), amarillo

Tabla 2: Estructuras y Características de las Xantofilas Comunes en los Alimentos

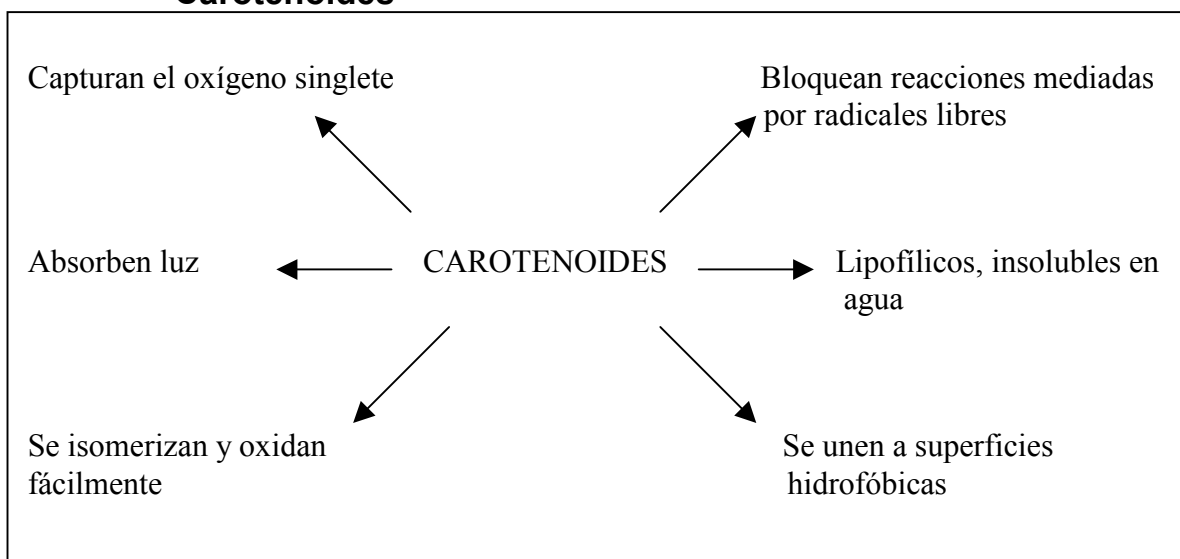
Estructura	Características	Función de Oxígeno
 <p>β-Criptoxantina</p>	bicíclica (2 anillos β) naranja	1 grupo hidroxilo
 <p>α-Criptoxantina</p>	bicíclica (1 anillo β , 1 anillo ϵ), amarillo	1 grupo hidroxilo
 <p>Zeaxantina</p>	bicíclica (2 anillos β), amarillo-naranja	2 grupos hidroxilo
 <p>Luteina</p>	bicíclica (1 anillo β 1 anillo ϵ), amarilla	2 grupos hidroxilo
 <p>Violaxantina</p>	bicíclica, amarillo	2 grupos hidroxilo 2 grupos epoxi
 <p>Astaxantina</p>	bicíclica (2 anillos β), rojo	2 grupos hidroxilo 2 grupos ceto

PROPIEDADES, FUNCIONES Y ACCIONES DE LOS CAROTENOIDES

Una revisión de las estructuras y propiedades fisico-químicas de los carotenoides proporciona los antecedentes necesarios para comprender sus funciones y acciones multifacéticas.

La Figura 1 resume importantes propiedades físicas y químicas de los carotenoides. El rasgo estructural distintivo de los carotenoides es un sistema extenso de enlaces conjugados, el cual consiste en alternar enlaces carbono-carbono simples y dobles. Por lo general se denomina cadena poliénica. Esta parte de la molécula conocida como el cromóforo, es responsable de la capacidad de los carotenoides de absorber luz en la región visible y en consecuencia su gran capacidad de coloración. Se requieren al menos siete enlaces dobles conjugados para que un carotenoide produzca color como en el ζ -caroteno, el cual es amarillo suave. El fitoflueno con cinco de tales enlaces es incoloro. El color se acentúa a medida que se extiende el sistema conjugado, así el licopeno es rojo. La ciclación causa algún impedimento, por tanto el β -caroteno y el γ -caroteno son de color naranja y rojo-naranja respectivamente, aunque tienen el mismo número de enlaces dobles conjugados que el licopeno (once). La intensidad y matiz de los colores en los alimentos dependen de cuales carotenoides están presentes, sus concentraciones y estado físico.

Figura 1: Propiedades Físicas y Químicas Importantes de los Carotenoides



Los carotenoides son sustancias hidrofóbicas, lipofílicas y son virtualmente insolubles en agua. Se disuelven en solventes grasos como acetona, alcohol, éter etílico, tetrahidrofurano y cloroformo. Los carotenos son fácilmente solubles en éter de petróleo y hexano. Las xantofilas se disuelven mejor en metanol y etanol. En plantas y animales, los carotenoides ocurren como cristales o sólidos amorfos, en solución en medios lipídicos, en dispersión coloidal o en combinación con proteínas en fase acuosa. Aparte de permitir el acceso a los medios acuosos, la asociación de los carotenoides con las proteínas estabiliza el pigmento y cambia su color. Por ejemplo, en invertebrados tales como camarón, cangrejo y langosta, el carotenoide astaxantina aparece como complejos carotenoproteicos azules, verdes o púrpuras. En la cocción, la denaturalización de la proteína libera la astaxantina y aparece el color rojo.

La importancia de los carotenoides en los alimentos va más allá de su rol como pigmentos naturales. En forma creciente se han atribuido a estos compuestos funciones y acciones biológicas. De hecho, por mucho tiempo se ha sabido de la actividad de provitamina A de los carotenoides. La dieta proporciona la vitamina A en forma de vitamina A preformada (retinil ester, retinol, retinal, 3-dehidroretinol y ácido retinoico) a partir de alimentos de origen animal como por ejemplo hígado, leche y productos lácteos, pescado y carne, o como carotenoides que se pueden transformar biológicamente a vitamina A (provitaminas A) generalmente a partir de alimentos de origen vegetal. Sobre una base mundial, se estima que aproximadamente el 60% de la vitamina A dietaria proviene de las provitaminas A (Simpson 1983). Debido al costo generalmente prohibitivo de los alimentos animales, la contribución dietaria de la provitamina A aumenta a un 82% en los países en desarrollo. También, la provitamina A tiene la ventaja de convertirse a vitamina A sólo cuando el cuerpo lo requiere; evitando así, la toxicidad potencial de una sobredosis de vitamina A. Por otra parte, muchos factores influyen en la absorción y utilización de provitamina A como por ejemplo la cantidad, tipo y forma física de los carotenoides en la dieta; la ingesta de grasa, vitamina E y fibra; el estado nutricional en relación a las proteínas y zinc; la existencia de ciertas enfermedades e infecciones por parásitos. Así, la biodisponibilidad de carotenoides es variable y difícil de evaluar.

De los más de 600 carotenoides conocidos actualmente, aproximadamente 50 de ellos serían precursores de vitamina A basándose en consideraciones estructurales. Se ha podido estimar las biopotencias relativas de sólo unas pocas de estas provitaminas mediante ensayos en ratas y la Tabla 3 muestra algunos ejemplos. La provitamina A más importante es el β -caroteno tanto en términos de bioactividad como de amplia ocurrencia. Virtualmente todas las muestras de alimentos carotenogénicos de plantas analizados hasta la fecha contienen β -caroteno como constituyente principal o menor. Estructuralmente, la vitamina A es esencialmente la mitad de la molécula de β -caroteno con una molécula adicional de agua en el extremo de la cadena lateral. Así, el β -caroteno es una potente provitamina A, a la cual se le asigna un 100% de actividad (Tabla 3). Un anillo β no sustituido con una cadena poliénica de 11 carbonos es el requerimiento mínimo para la actividad de la vitamina A. Por lo tanto, no son provitaminas A el fitoflueno, ζ -caroteno y licopeno (Tabla 1), los cuales carecen de anillos β ; y zeaxantina, luteína, violaxantina y astaxantina (Tabla 2) en los cuales ambos anillos β tienen sustituyentes hidroxilo, epoxi o ceto. Sin embargo, el γ -caroteno, α -caroteno (Tabla 1), β -criptoxantina y α -criptoxantina

(Tabla 2), los cuales tienen un anillo β no sustituido, tienen actividad de vitamina A (Tabla 3) y poseen aproximadamente la mitad de la bioactividad del β -caroteno. No obstante su menor biopotencia en comparación con el β -caroteno, la β -criptoxantina también merece atención dado que es el principal carotenoide de muchas frutas como duraznos, nectarines, papayas con pulpa naranja, caqui, mombin, y la fruta del árbol del tomate. Algunas frutas y vegetales tienen cantidades importantes de α -caroteno como por ejemplo la zanahoria, algunas variedades de calabaza y zapallo, palma roja y el dátil buriti de la palma brasileña (*Mauritia vinifera*). El buriti y las frutas brasileñas palma de durazno (*Bactris gasipaes*), piqui (*Cariocar villosium*) y pitanga (*Eugenia uniflora*) contienen altas cantidades de γ -caroteno. La provitamina α -criptoxantina se encuentra ampliamente distribuida en frutas y verduras brasileñas pero sólo en niveles bajos (Rodríguez-Amaya 1996).

Tabla 3: Bioactividades Relativas de Algunas Provitaminas A

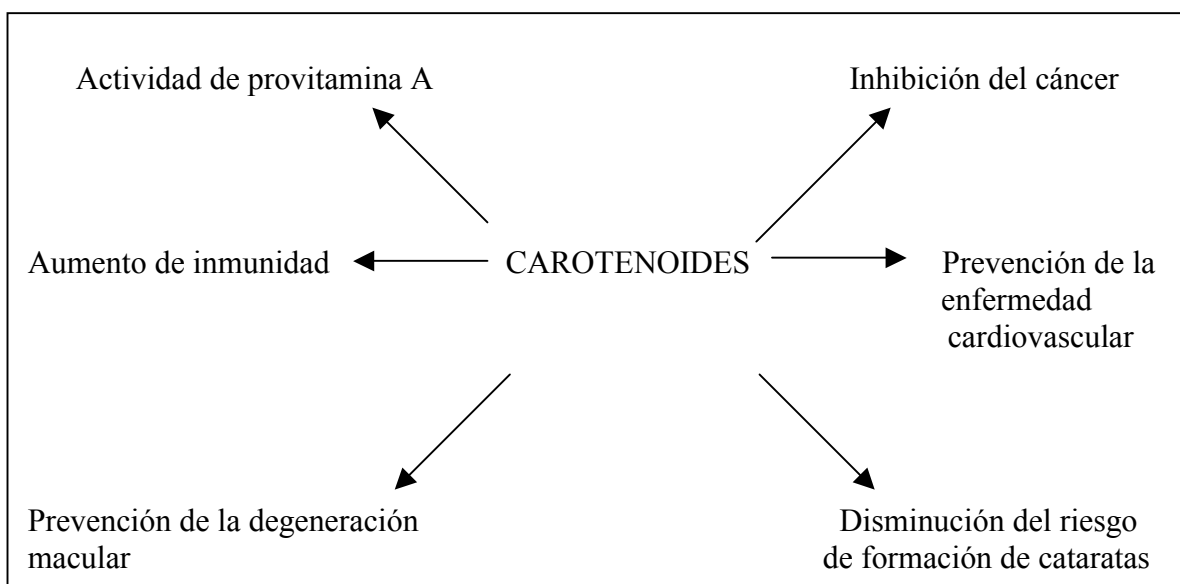
Provitamina A	Actividad Relativa (%) Bauernfeind (1972)	Actividad Relativa Zechmeister (1949)
β -caroteno	100	100
13- <i>cis</i> β -caroteno	-	53
9- <i>cis</i> β -caroteno	-	38
α -caroteno	50-54	53
<i>cis</i> α -caroteno (<i>i</i> 13- <i>cis</i> ?)	-	16
<i>cis</i> α -caroteno (<i>i</i> 9- <i>cis</i> ?)	-	13
β -zeacaroteno	20-40	-
γ -caroteno	42-50	42
<i>cis</i> γ -caroteno	-	19
5-6 monoepoxi β -caroteno	21	-
Mutatocromo	50	-
β -criptoxantina	50-60	57
<i>cis</i> β -criptoxantina (<i>i</i> 9 <i>cis</i> ?)	-	27
<i>cis</i> β -criptoxantina (<i>i</i> 15 <i>cis</i> ?)	-	42
β -apo-8'-carotenal	72	-

A menos que se señale expresamente, los carotenoides están en su forma *trans*.

Los carotenoides también se han relacionado con un aumento del sistema inmune y una disminución del riesgo de enfermedades degenerativas tales como cáncer, enfermedad cardiovascular, degeneración macular relacionada a la edad y formación de cataratas (Mathews-Roth 1985, 1991; Bendich y Olson 1989; Bendich 1990, 1994; Krinsky 1990, 1994; Ziegler 1991; Gerster 1991; Byers y Perry 1992) (Figura 2). Estos efectos biológicos son independientes de la actividad de provitamina A y se han atribuido a una propiedad antioxidante de los carotenoides a través de la desactivación de los radicales libres (átomos o grupos de átomos que poseen un electrón no compartido) y la captura del oxígeno singlete (Burton 1989; Krinsky 1989; Palozza y Krinsky 1992). La capacidad de los carotenoides para capturar el oxígeno singlete se relaciona con el sistema de enlace doble conjugado y los que tienen nueve o más enlaces dobles otorgan la máxima protección (Foote et al. 1970). Se observó que el licopeno acíclico era más efectivo que el β -caroteno bicíclico (Di Mascio et al. 1989). Los resultados obtenidos con un sistema iniciado de radicales libres también sugirieron que la cantaxantina y astaxantina, ambas con grupos ceto conjugados eran mejores antioxidantes que el β -caroteno y zeaxantina (Terao 1989).

Debido a que la deficiencia de vitamina A sigue siendo un problema serio de salud pública en los países en desarrollo, las fuentes dietarias y adecuación de las provitaminas A continúan siendo la principal preocupación. Por otra parte, el enfoque en el mundo desarrollado ha girado a los otros efectos de promoción de la salud de los carotenoides.

Figura 2: Funciones o Acciones que Promueven la Salud Atribuidas a los Carotenoides



La cadena poliénica es también irónicamente la causa de la inestabilidad de los carotenoides incluyendo su susceptibilidad a la oxidación (combinación con oxígeno) e isomerización geométrica (cambio de la geometría del enlace doble). El calor, la luz y los ácidos promueven la isomerización de los carotenoides *trans* -su configuración habitual en la naturaleza- a la forma *cis*. La oxidación, la causa principal de las pérdidas de carotenoides, depende del oxígeno disponible, los carotenoides involucrados y su condición física. La luz, calor, metales, enzimas y peróxidos estimulan la oxidación que es inhibida por los antioxidantes tales como tocoferoles (vitamina E) y ácido ascórbico (vitamina C). Se cree que los epóxidos y apocarotenoides (carotenoides con un acortamiento del esqueleto carbonado) son los productos iniciales (Hunter y Krakenberger 1947; El-Tinay y Chichester 1970; Ramakrishnan y Francis 1979; Marty y Berset 1988). Las subsecuentes fragmentaciones dan como resultado una serie de compuestos de bajo peso molecular similares a aquellos obtenidos en la oxidación de los ácidos grasos. Es probable que existan las condiciones necesarias para la isomerización y oxidación de los carotenoides en la preparación de alimentos en el hogar, el procesamiento industrial y el almacenamiento de alimentos. Las consecuencias son pérdida de color y de la actividad de vitamina A y de otras actividades biológicas. La degradación de los carotenoides también se ha asociado con el desarrollo de sabores desagradables (off-flavor) en los alimentos tales como en zanahoria deshidratada y en escamas de camote (Falconer et al. 1964).

DIFICULTADES EN MEDIR LOS NIVELES DE PROVITAMINAS A

Dado que las dificultades inherentes al análisis de carotenoides algunas veces no son percibidas por los mismos analistas, todavía aparece cuestionable la confiabilidad de una parte sustancial de los datos existentes. El analista debe estar consciente de la importancia de un muestreo adecuado y de la preparación de la muestra, de tomar las precauciones necesarias para evitar la isomerización y oxidación de los carotenoides durante el análisis, de los criterios mínimos para una identificación concluyente y de tomar medidas para evitar errores de cuantificación con el fin de eliminar las diferencias de los resultados y la desinformación que se encuentra en la literatura.

Dado que se ha reconocido ampliamente la importancia de determinar el contenido de provitamina A en los alimentos, se han hecho mayores esfuerzos para mejorar la validez/confiabilidad de los datos. Debido a las dificultades inherentes a los análisis de los carotenoides, las cuales a veces no son percibidas por los mismos analistas, todavía aparece como cuestionable la confiabilidad de una parte sustancial de la información existente. Una buena comprensión de la naturaleza de los carotenoides es ciertamente un prerequisite para una buena realización del análisis y ayuda al investigador a evitar las discrepancias en los resultados y la desinformación que persisten en la literatura.

La magnitud del desafío analítico se puede comprender mejor si se consideran los siguientes factores (Rodríguez-Amaya 1989,1990; Rodríguez-Amaya y Amaya-Farfan 1992):

- existen muchos carotenoides naturales
- la composición de los carotenoides en los alimentos varía tanto cualitativa como cuantitativamente
- las concentraciones de carotenoides en un alimento dado cubren un amplio rango.
- sólo unos pocos carotenoides son provitaminas A y aquellos que lo son varían en su bioactividad.
- los carotenoides tienen una predisposición a la isomerización y oxidación

Por lo tanto, es probable que ocurran problemas al separar, identificar y cuantificar las provitaminas junto con su degradación durante el análisis. Además, está bien documentado que la composición de los carotenoides varía en función de factores tales como variedad o cultivar, estado de maduración, clima o ubicación geográfica, parte analizada, manipulación post-cosecha y almacenamiento (Gross 1987, 1991, Rodríguez-Amaya 1993a). No se puede

dejar de mencionar la importancia de un muestreo adecuado y se debe acompañar a los resultados información pertinente que indique la variedad, estado de maduración, estación y origen geográfico, y parte analizada. Los errores incurridos al muestrear pueden superar fácilmente a los del análisis mismo.

Cualquiera sea el método escogido, es esencial que se tomen las precauciones necesarias para evitar transformaciones y pérdidas cuantitativas de los carotenoides durante el análisis. Estas incluyen principalmente (Davies 1976, Schiedt and Liaaen-Jensen 1995):

- completar el análisis dentro del plazo más breve posible.
- usar solventes de grado reactivo o destilados libres de impurezas nocivas, tales como éter etílico libre de peróxidos y tetrahidrofurano, o cloroformo libre de ácido.
- proteger de la luz
- excluir oxígeno, por ejemplo utilizando una atmósfera al vacío, de nitrógeno o de argón.
- evitar altas temperaturas

También, se puede requerir de antioxidantes y agentes neutralizantes especialmente cuando el análisis es prolongado. Las muestras después de cortarse o desmenuzarse se deben extraer inmediatamente para evitar la oxidación enzimática. De hecho, la desintegración de la muestra y la extracción con un solvente orgánico se realizan generalmente en forma simultánea. Una buena medida es comenzar el análisis tan pronto como se recolecten las muestras debido a que es difícil preservar las muestras sin alterar su composición.

El procedimiento analítico general para el análisis de carotenoides consiste en:

- muestreo y preparación de la muestra
- extracción
- transferencia (partición) a éter de petróleo, hexano o éter etílico
- saponificación y lavado
- concentración en evaporador rotatorio (< 35°C)
- separación cromatográfica
- identificación y cuantificación

La partición se puede omitir cuando se realizan métodos por cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC). La saponificación es considerada el mejor medio para remover las clorofilas y lípidos no deseados y para hidrolizar los ésteres de carotenoides. Sin embargo, lo anterior aumenta el tiempo requerido para el análisis y puede formar artefactos y degradar los carotenoides; la extensión de que esto ocurra depende de las condiciones utilizadas (Kimura et al. 1990). Por lo tanto, cuando sea posible se debería eliminar la saponificación del procedimiento; se ha demostrado por ejemplo que es innecesario para los vegetales con hojas y tomates (Mercadante y Rodríguez-Amaya 1989; Rodríguez-Amaya y Tavares 1992).

Las fuentes típicas de errores en el análisis de carotenoides son:

- muestras que no representan los lotes de alimentos bajo investigación
- extracción incompleta
- pérdidas en la partición, saponificación y lavado
- separación incompleta
- mala identificación
- fallas en la cuantificación y cálculo
- isomerización y oxidación de los carotenoides durante el análisis

Con una atención a menudo sólo superficial, las etapas precromatográficas pueden introducir errores significativos, los cuales no se pueden compensar en la etapa de la medición no importa cuán sofisticado sea el instrumento analítico. Los resultados obtenidos son sólo buenos en la medida que lo sea el extracto sometido a cromatografía.

El análisis de las provitaminas A es evidentemente más sencillo que la determinación del espectro total de los carotenoides. Sin embargo, es necesario separar las provitaminas A de los carotenoides inactivos y entre ellas, de tal modo que se puedan cuantificar separadamente. La separación cromatográfica de los carotenoides se puede realizar mediante la clásica cromatografía de columna abierta (CCA) o por HPLC. Aunque útil para identificar los carotenoides, no se recomienda la cromatografía de capa fina (TLC) para el análisis cuantitativo, debido a las dificultades en recuperar los carotenoides separados de las placas y la posibilidad de isomerización y oxidación en la superficie altamente expuesta. Tampoco es apropiada la cromatografía de gases (CG) debido a la termolabilidad y baja volatibilidad de los carotenoides.

Se ha señalado muy a menudo que la determinación de provitamina A se debería realizar mediante HPLC, siendo considerada inadecuada la CCA. Sin embargo, tres investigaciones han demostrado que cualquiera de estos métodos cromatográficos se puede usar en forma confiable (Carvalho et al. 1992, Adewusi y Bradbury 1993; Wilberg y Rodríguez-Amaya 1995), siempre que el análisis se realice bajo condiciones óptimas. La exactitud y reproducibilidad de los resultados utilizando CCA depende de la habilidad del analista en empacar la columna y en ajustar los volúmenes y proporciones de los solventes utilizados para la elución (remoción desde el adsorbente) así como también la agudeza para visualizar la separación. La separación cromatográfica debería realizarse hasta que se separen las provitaminas A, y no hasta que se recolecte una parte de una mezcla de carotenoides como lo señalan los métodos de la Association of Official Analytical Chemists (AOAC) y los de la European Cooperation for Scientific and Technological Research (COST) (Brubacher et al. 1985; Deutsch 1990). Los principales problemas en HPLC son obtener y mantener estándares de carotenoides para su cuantificación, el gasto financiero extremadamente alto y los costos de mantención y operación. Los proyectos que utilizan HPLC en los países en desarrollo cuentan por lo general con financiamiento externo y no se puede ignorar el tema de la sustentabilidad.

En la CCA, los carotenoides se colocan en una columna de vidrio empacada con un adsorbente (por lo general MgO: Hyflosupercel o alúmina neutra desactivada). La separación y elución se realizan mediante el aumento de la polaridad del solvente (por lo general éter de petróleo o hexano con cantidades crecientes de éter etílico o acetona). Las provitaminas A separadas (identificadas completamente) se reúnen y se cuantifican espectrofotométricamente. La HPLC por lo general se realiza utilizando una columna C₁₈ con mezclas de acetonitrilo, metanol, acetato de etilo, cloroformo o tetrahidrofurano como fases móviles.

Debido a que los carotenoides absorben en forma máxima a diferentes longitudes de onda y tienen diferentes coeficientes de absorción, los resultados obtenidos de la normalización (porcentajes de área) sólo se pueden considerar como proporciones relativas aproximadas. Sin embargo, para la ciencia de alimentos y para propósitos nutricionales, los resultados son sólo útiles si se presentan en términos de concentración, es decir, peso de la provitamina por unidad de peso de la muestra. Esto se puede realizar en HPLC mediante curvas de calibración interna o externa, para lo cual se deben determinar también espectrofotométricamente las concentraciones de los estándares.

Por lo tanto, se requiere de una fuente constante y confiable de estándares puros de provitamina A especialmente para la estandarización externa. La exactitud de los resultados está directamente relacionada a saber cuan exactamente se conocen las concentraciones de las soluciones estándares. Desafortunadamente, sólo estándares de α - y β -caroteno están disponibles en forma comercial. Más aún, los estándares comerciales de β -caroteno han demostrado tener una pureza variable (Quackenbush y Smallidge 1986; Craft et al. 1990), lo cual quiere decir que se debe verificar la pureza del estándar comercial del carotenoide antes de usarlo y se podría requerir de su purificación. Otras provitaminas tales como β -criptoxantina deben ser aisladas por el analista a partir de fuentes naturales.

FUENTES ALIMENTARIAS IMPORTANTES DE PROVITAMINAS A

Las encuestas realizadas en diferentes países muestran que en términos del contenido de provitamina A, las fuentes más importantes corresponden a los vegetales con hojas de color verde oscuro, aceite de palma roja, dátiles, zanahoria, camotes de color naranja, calabazas y zapallos maduros y algunas otras frutas tropicales de color amarillo/naranja.

Los datos sobre el contenido de provitamina A de los alimentos todavía no se consideran como ideales. Las discrepancias de los resultados a menudo exceden la esperada variación natural, lo que indica que los errores analíticos son todavía prevalentes y se requieren con urgencia estudios colaborativos interlaboratorios para validar los métodos y evaluar el desempeño de los laboratorios.

No obstante lo anterior, se destacan a continuación importantes fuentes alimentarias de provitamina A a nivel mundial.

Vegetales con Hojas

En las encuestas realizadas en diferentes países (Tabla 4), los vegetales con hojas de color verde oscuro figuran como las fuentes comunes más ricas en provitamina A. Relativamente fáciles de producir y disponibles prácticamente durante todo el año, éstos son de bajo costo y por lo tanto fuentes accesibles de provitamina A para la mayoría de los países en el mundo en desarrollo. En estos vegetales, el β -caroteno es esencialmente el único que contribuye a la actividad de la vitamina A, mientras que el α -caroteno y la α - ó β -criptoxantina aparecen informados en forma ocasional y en niveles muy bajos. Sin embargo, el contenido de β -caroteno de los vegetales con hojas varía significativamente.

Tabla 4: Fuentes Importantes de Provitamina A en Diferentes Países^a

País/Referencia	Alimento	Nombre común	Nombre científico	β -caroteno ($\mu\text{g/g}$ porción comestible)
INDIA				
Begum y Pereira 1977	Vegetales con hojas	Nerringi keerai	<i>Tribulus terrestris</i>	74 \pm 9
		Kuppai keerai	<i>Amaranthus viridis</i>	72 \pm 28
		Manathakkali keerai	<i>Solanum nigrum</i>	70 \pm 37
		Agathi keerai	<i>Sesbania grandiflora</i>	66 \pm 22
		Pacharisi keerai	<i>Euphorbia hirta</i>	62 \pm 6
		Puliara keerai	<i>Oxalis corniculata</i>	60 \pm 22
		Kasini keerai	<i>Raphanus sp</i>	56 \pm 12

País/Referencia	Alimento	Nombre común	Nombre científico	β -caroteno ($\mu\text{g/g}$ porción comestible)
		Mullu keerai	<i>Amaranthus spinosus</i>	57 \pm 28
		Sirukeerai	<i>Amaranthus polygonoides</i>	53 \pm 14
		Poonanganni keerai	<i>Alternanthera sessilis</i>	52 \pm 5
		Muringa keerai	<i>Moringa oleifera</i>	52 \pm 22
		Seemai Poonanganni	<i>Alternanthera sp</i>	46 \pm 8
		Chakravathy keerai	<i>Amaranthus sp</i>	39 \pm 3
		Nadirsan keerai	<i>Portulaca wightiana</i>	36 \pm 10
		Modakathan keerai	<i>Cardiospermum helicacabum</i>	35 \pm 7
		Knol khol keerai	<i>Brassica oleracea var. caulorapa</i>	35 \pm 7
		Arai keerai	<i>Amaranthus tristis</i>	34 \pm 10
		Panna keerai	<i>Celosia sp</i>	34 \pm 10
		Pulichai keerai	<i>Hibiscus cannabinus</i>	34 \pm 20
		Thandu keerai	<i>Amaranthus gangeticus</i>	32 \pm 11
		Molai keerai	<i>Amaranthus sp</i>	31 \pm 9
Bhaskarachary et al. 1995; Reddy et al. 1995	Vegetales con hojas comunes	Cañafistula	<i>Moringa oleifera</i>	197 \pm 55
		Agathi	<i>Sesbania grandiflora</i>	154 \pm 69
		Methi	<i>Trigonella foenum graecum</i>	92 \pm 15
		Amaranto	<i>Amaranthus gangeticus</i>	86 \pm 28
		Cari, hoja	<i>Murraya koenigii</i>	71 \pm 24
		Gogu	<i>Hibiscus sabdariffa</i>	58 \pm 28
		Chammakura	<i>Colocasia antiquorum</i>	55 \pm 19
		Cebolla, hoja	<i>Allium cepa</i>	49 \pm 2
		Koyyalakura	<i>Sueda monoica</i>	48 \pm 6
		Cilantro	<i>Coriandrum sativum</i>	48 \pm 2
		Pudina (menta)	<i>Menta arvensis</i>	43 \pm 20
		Palak	<i>Spinacea oleracea</i>	32 \pm 12
		Ceylon bacchali	<i>Talinum triangulare</i>	30 \pm 6
Bhaskarachary et al. 1995; Reddy et al. 1995	Vegetales con hojas menos comunes	Bota benda	<i>Abutilon indicum</i>	126 \pm 15
		Chennangiaku	<i>Cassia sp</i>	119 \pm 22
		Yerramolakakaura	<i>Amaranthus sp</i>	119 \pm 15
		Mulla thotakura	<i>Amaranthus spinosus</i>	109 \pm 12
		Tulasi	<i>Ocimum sanctum</i>	82 \pm 11
		Chirrakura	No citado	71 \pm 11
		Harichandamkura	No citado	75 \pm 14
		Betel, hoja	<i>Piper beetle</i>	59 \pm 10
		Ponnagantikura	<i>Alternanthera sessilis</i>	57 \pm 16
		Uttareni	<i>Achyranthes aspera</i>	43 \pm 7
		Tummikura	<i>Leucas aspera</i>	41 \pm 9
		Chitramulan	<i>Plumbago zeylanica</i>	39 \pm 11

País/Referencia	Alimento	Nombre común	Nombre científico	β -caroteno ($\mu\text{g/g}$ porción comestible)
Bhaskarachary et al. 1995; Reddy et al. 1995	Vegetales sin hojas	Zanahoria	<i>Daucus carota</i>	65 \pm 15
Bhaskarachary et al. 1995; Reddy et al. 1995	Fruta	Dátiles indios	<i>Phoenix sp</i>	30 \pm 3
TAILANDIA				
Speek et al. 1988	Vegetales con hojas	Hinojo común	<i>Eryngium foetidum</i>	44
		Melón amargo, hojas	<i>Momordica charantia</i>	34
Wasantwisut et al. 1995	Vegetales con hojas	Ajo, hojas	<i>Allium sativum</i>	50
		Calabaza de hiedra	<i>Coccinia arandis L. Voist</i>	32-41
		Arbol de plomo, hojas	<i>Leucaena glauca</i>	31-33
		Amaranto	<i>Amaranthus viridis</i>	15-39
		Repollo chino de los pantanos	<i>Ipomoea reptans</i>	12-42
MALASIA				
Tee y Lim 1991	Vegetales con hojas	Daun turi	<i>Sesbania grandiflora</i>	136
		Cekur manis	<i>Sauropus androgynus</i>	133
		Tanki	<i>Neptunia oleracea</i>	114
		Cari, hojas	<i>Murray koenigii</i>	93
		Cañafistula, hojas	<i>Moringa oleifera</i>	75
		Ranti	<i>Solanum nigrum</i>	70
		Wolfberry, hojas	<i>Lycium chinense</i>	59
		Tapioca, brotes	<i>Manihot utilissima</i>	57
		Espinaca, roja	<i>Amaranthus gangeticus</i>	51
		Menta, hojas	<i>Mentha arvensis</i>	48
		Kale chino	<i>Brassica alboglabra</i>	41
		Pegaga gajah	<i>Hydrocotyle javanica</i>	38
		Espinaca ceylon	<i>Basella rubra</i>	35
		Cebollines chinos	<i>Allium odorum</i>	35
		Vegetal saladado		34
		Espinaca	<i>Amaranthus viridis</i>	32
		Cilantro, hojas	<i>Coriandrum sativum</i>	32
		Cemperai	<i>Champereia griffithii</i>	32
		Daun mengkudu	<i>Morinda citrifolia</i>	31
		Repollo chino	<i>Brassica chinensis</i>	30
Tee y Lim 1991	Vegetales sin hojas	Zanahoria	<i>Daucus carota</i>	68 ^b
Choo 1994	Aceite	Aceite de palma roja Tenera	<i>Elaeis guineensis</i>	377 ^c

País/Referencia	Alimento	Nombre común	Nombre científico	β-caroteno (μg/g porción comestible)
BANGLADESH				
Rahman et al. 1990, 1995	Vegetales con hojas	Pat sak	<i>Chorchorus capsularis</i>	100±11
		Motor sak	<i>Pisum sativus</i>	89±9
		Sharisha sak	<i>Brassica campestris</i>	88±7
		Kalmi sak	<i>Ipomoea reptans</i>	83±4
		Helencha sak	<i>Enhydra fluctuans</i>	82±3
		Kachu sak	<i>Colocasia antiquorum</i>	80±10
		Lal sak	<i>Amaranthus gangeticus</i>	80±9
		Lau sak	<i>Lagenaria vulgaris</i>	66±3
		Palang sak	<i>Spinacea oleracea</i>	64±10
		Mula sak	<i>Raphanus sativus</i>	63±6
		Thankuni sak	<i>Centella asiatica</i>	61±1
		Pui sak	<i>Basella alba</i>	56±7
		Nunia sak	<i>Portulaca oleracea</i>	54±3
		Rahman et al. 1990, 1995	Flor	Sharisha phool
TAIWAN				
Chen et al. 1993	Vegetales con hojas	Albahaca	No citado	105±28
		Cebolla verde aromática	No citado	92±9
		Kale	<i>Brassica oleracea var. acephala</i>	70±11
Chen et al. 1993	Vegetales sin hojas	Zanahoria	<i>Daucus carota</i>	54±6 ^b
NEPAL				
Vaidya 1995	Vegetales con hojas comunes	Lepidio	<i>Lepidium sativum</i>	58
		Espinaca	<i>Spinacea oleracea</i>	30
Vaidya 1995	Parte con hojas de otro vegetal	Zanahoria, hojas	<i>Daucus carota</i>	42
Vaidya 1995	Hojas silvestres/tradicionales	Hierba de pahadia pig	<i>Amaranthus blitum</i>	92
		Hierba de pig	<i>Amaranthus viridis</i>	75
		Helecho comestible	<i>Driopteris cochleate</i>	44
		Menta	<i>Mentha aquatica</i>	37
		Prostate yarba-detegra	<i>Eclipta prostrate</i>	36
		Cuarto de cordero	<i>Chenopodium album</i>	33
Vaidya 1995	Vegetal sin hojas	Amaranto	<i>Amaranthus leucocarpus</i>	33
		Zanahoria	<i>Daucus carota</i>	43

País/Referencia	Alimento	Nombre común	Nombre científico	β -caroteno ($\mu\text{g/g}$ porción comestible)		
JAPÓN						
Izaki et al. 1986	Vegetales	Perilla verde, hojas	No citado	187		
		Komatsuna	<i>Brassica campestris</i>	63		
		Apio, hojas	<i>Apium graveolens</i>	61		
		Perejil	<i>Petroselinum hortense</i>	58		
		Berza	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>acephala</i>	54		
		Ashitaba	<i>Angelica keiskei</i>	51		
		Mitsuba	<i>Criptotaenia japonica</i>	48		
		Nabo, hojas	<i>Brassica rapa</i>	46		
		Hakatema	<i>Brassica campestris</i> var. <i>oleifera</i>	46		
		Cebollines chinos	<i>Allium odorum</i>	46		
		Espinaca	<i>Spinacea oleracea</i>	44		
		Zanahoria Kintoki	<i>Daucus carota</i>	43		
		Sugukina	<i>Brassica rapa</i> var. <i>neo suguki</i>	41		
		Shungiku	<i>Chrysanthemum coronarium</i>	41		
		Filipéndula de agua	<i>Oenanthe javanica</i>	40		
		Espinaca malabar	<i>Basella alba</i>	39		
		Vitamin-na	<i>Brassica campestris</i> var. <i>narinosa</i>	37		
		Hiroshimana	<i>Brassica campestris</i> var. <i>pekinensis</i>	36		
		Mostaza, hoja ancha	<i>Brassica juncea</i>	35		
		Berro	<i>Nastritium officinale</i>	31		
		Mostaza, hoja	<i>Brassica juncea</i>	31		
		Hamaboufuu	<i>Glehnia littoralis</i>	30		
		Kon 1989	Vegetales verdes	Chingentsuai, hojas	<i>Brassica campestris</i> var. <i>chinensis</i>	91
				Komatsuna, hojas	<i>Brassica campestris</i>	86
Perilla, hojas	No citado			72		
Espinaca, hojas	<i>Spinacea oleracea</i>			66		
Leaf-blade, verde	No citado			52		
Espinaca, entera	<i>Spinacea oleracea</i>			35		
Komatsuna, entera	<i>Brassica campestris</i>			33		
FINLANDIA						
Heinonen et al. 1989	Vegetales con hojas	Perejil	<i>Petroselinum hortense</i>	56		
		Eneldo	<i>Anethum graveolens</i>	45		
		Espinaca	<i>Spinacea oleracea</i>	33		
Heinonen et al. 1989	Vegetal sin hoja	Zanahoria	<i>Daucus carota</i>	76 ^b		
TANZANIA						
Pepping et al. 1988	Vegetales con hojas	“Kayeba” hojas	No citado	35		
		Caupí seco, hojas	<i>Vigna spp</i>	23-57		
		Zapallo seco, hojas	<i>Cucurbita moschata</i>	90-102		

País/Referencia	Alimento	Nombre común	Nombre científico	β -caroteno ($\mu\text{g/g}$ porción comestible)
Pepping et al. 1988	Aceite	Aceite de palma roja	<i>Elaeis guineensis</i>	93-330 ^c
ESTADOS UNIDOS				
Khachik et al. 1986; Bureau y Bushway 1986; Bushway 1986; Bushway y Wilson 1982; Bushway et al. 1986; Quackenbush 1987	Vegetales con hojas	Kale	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>acephala</i>	82-146
		Espinaca	<i>Spinacea oleracea</i>	43-82
		Betarraga, hojas	<i>Beta vulgaris</i>	19-50
		Acelga	<i>Beta vulgaris</i>	21-46
Bureau y Bushway 1986; Bushway 1986; Bushway y Wilson 1982; Bushway et al. 1986; Quackenbush 1987; Khachik y Breecher 1987	Vegetales sin hojas	Zanahoria	<i>Daucus carota</i>	36-182 ^b
		Camote	<i>Ipomoea batatas</i>	50-160
		Calabaza	<i>Cucurbita maxima</i>	24-84
		Zapallo	<i>Cucurbita moschata</i>	80 ^d
Bureau y Bushway 1986; Bushway 1986; Bushway y Wilson 1982; Bushway et al. 1986; Quackenbush 1987; Khachik et al. 1989	Fruta	Melón	<i>Cucumis melo</i>	16-126
BRASIL				
<i>Región del Sureste</i>				
Ramos y Rodríguez-Amaya 1987; Minazzi-Rodrigues y Penteado 1989; Godoy y Rodríguez-Amaya 1996	Vegetales con hojas disponibles en el comercio	Mostaza, hojas	<i>Brassica juncea</i>	60±15
		Perejil	<i>Petroselinum hortense</i>	50±15
		Cilantro, hojas	<i>Coriandrum sativum</i>	47±5
		Berro	<i>Nastrutium officinale</i>	42±10
		Kale	<i>Brassica oleracea</i> var. <i>acephala</i>	35±13
		Roquette	<i>Eruca sativa</i>	35±13
		Achicoria común	<i>Chicorium intybus</i>	34±10
Minazzi-Rodrigues y Penteado 1989; Mercadente y Rodríguez-Amaya 1990	Vegetales con hojas nativos o sin cultivar	Caruru	<i>Amaranthus viridis</i>	110±6
		Mentruz	<i>Lepidium pseudodidymum</i>	85±19
		Taioba	<i>Xanthosoma spp</i>	67±21
		Serralha	<i>Sonchus oleraceus</i>	63±14
		Beldroega	<i>Portulaca oleracea</i>	30±8

País/Referencia	Alimento	Nombre común	Nombre científico	β-caroteno (μg/g porción comestible)
Godoy y Rodríguez-Amaya 1996; Arima y Rodríguez-Amaya 1988; Almeida y Penteadó 1987; Godoy y Rodríguez Amaya 1993	Vegetales sin hojas	Zapallo Menina verde	<i>Cucurbita moschata</i>	39±12 ^d
		Zanahoria	<i>Daucus carota</i>	34±15 ^b
<i>Región del Norte</i>				
Penteadó et al. 1986	Vegetales con hojas	Quiabo	<i>Hibiscus esculentus</i>	116
		Macaxeira	<i>Manihot esculenta</i>	129
		Vinagreira blanca	<i>Hibiscus sabdariffa</i>	86
		Vinagreira roxa	<i>Hibiscus acetosela</i>	78
		Espinaca india	<i>Amaranthus sp.</i>	63
		Taioba	<i>Colocasia esculenta</i>	57
		Bertalha	<i>Basella rubra</i>	55
		Mentruz	<i>Chenopodium ambrosioides</i>	55
		Tomate	<i>Lycopersicum esculentum</i>	55
		Kale chino	<i>Brassica chinensis</i>	49
		Orelha de macaco	<i>Alternanthera sp.</i>	46
Espinaca africana	<i>Amaranthus sp.</i>	39		
Jambu blanco	<i>Spilanthes acmella</i>	39		
Rodríguez-Amaya et al. 1995a	Fruta	Tucuma	<i>Astrocaryum vulgare</i>	107±31
<i>Región del Noroeste</i>				
Arima y Rodríguez-Amaya 1990	Vegetal sin hoja	Zapallo Baianinha	<i>Cucurbita moschata</i>	235 ^d
Godoy y Rodríguez-Amaya 1994	Fruta	Buriti	<i>Mauritia vinifera</i>	360±32 ^e
Trujillo-Quijano et al. 1990	Aceite	Aceite de palma roja Tenera	<i>Elaeis guineensis</i>	363 ^c
<i>Región Central/Occidente</i>				
Hiani y Penteadó 1989b	Fruta	Bocaiúva	<i>Acronomia makayáya</i>	55
EGIPTO				
Abdel-Kader 1991	Vegetales con hojas	Espinaca	<i>Spinacea oleracea</i>	53
Abdel-Kader 1991	Raíces	Zanahoria	<i>Daucus carota</i>	63 ^b
		Camote	<i>Ipomoea batatas</i>	64

^a se incluyen sólo los alimentos con contenido de β-caroteno igual o mayor a 30 μg/g

^b Las zanahorias de Malasia, Taiwan, Finlandia, Estados Unidos, Brasil y Egipto también tenían 34, 28±3, 5.3, 20-106, 22±10 y 34µg/g de α-caroteno, respectivamente

^c El aceite de palma roja de Malasia, Tanzania y Brasil también contenía 237, 58-144 y 164 µg/g de α-caroteno *trans*, respectivamente y cantidades pequeñas de isómeros *cis* de α- y β-caroteno

^d El zapallo de Estados Unidos y los zapallos MeninaVerde y Baianinha de Brasil también tenían 55, 23 y 47 µg/g de α-caroteno respectivamente

^e El buriti también contenía 80±9 µg/g de α-caroteno y 37±4 µg/g de γ-caroteno

Begum y Pereira (1977) clasificaron los vegetales con hojas indios en tres grupos:

- aquellos con un alto contenido de β-caroteno (46 a 74 µg/g)
- aquellos con un nivel moderado de β-caroteno (25 a 39 µg/g)
- aquellos con un nivel bajo de β-caroteno (12 a 23 µg/g)

De los 32 vegetales con hojas analizados por CCA, doce pertenecieron a la primera categoría, doce a la segunda y ocho a la tercera. Veintiuna hojas tuvieron un nivel de β-caroteno mayor a 30 µg/g (Tabla 4). Se observaron algunas diferencias estacionales pero no se pudo distinguir ningún patrón consistente; algunos vegetales con hojas tenían un contenido mayor de β-caroteno en el verano y otros en los meses más fríos. Recientemente, se analizaron hojas comestibles en la India, esta vez por HPLC (Bhaskarachy et al. 1995; Reddy et al. 1995). De los 17 vegetales con hojas más comunes, 13 contenían 30 a 197 µg/g de β-caroteno; 12 de 20 hojas menos familiares contenían 39 a 126 µg/g. Los resultados por HPLC fueron mayores que los resultados por CCA para los mismos vegetales tales como cañafístula (197 comparado con 52 µg/g), agathi (154 comparado con 66 µg/g), amaranto (86 comparado con 32 µg/g), chammakura (55 comparado con 20 µg/g).

En un reciente estudio por HPLC realizado en el Noroeste de Tailandia (Wasantwisut et al. 1995), se analizaron 22 vegetales con hojas a través de las diferentes estaciones (invierno, verano, época de lluvia temprana y de lluvia tardía), aunque sólo se pudo disponer de nueve durante las cuatro estaciones. No se pudo observar una tendencia estacional definitiva en el β-caroteno; algunas hojas tenían un menor contenido de β-caroteno en el verano mientras otras tenían menores niveles en la estación de lluvia temprana o en el invierno. Cinco de las 22 hojas tuvieron, en promedio, un nivel de β-caroteno de aproximadamente 30µg/g o levemente superior (Tabla 4). Una investigación anterior (Speek et al. 1988) también realizada en el Noroeste de Tailandia que utilizó HPLC, mostró que el nivel de β-caroteno en hojas era incluso menor con sólo dos hojas de cada 33 – hojas de helecho común y melón agrio – con cantidades moderadas de β-caroteno (44 y 34 µg/g respectivamente). La concentración de β-caroteno para los mismos vegetales con hojas fueron notoriamente menores en el estudio más antiguo que en el estudio más reciente: el repollo chino de pantano (10 comparado con 12 a 42 µg/g), ombbligo de Venus asiática (1.0 comparado con 13 µg/g) y kale (2.3 comparado con 11 a 26 µg/g).

Los vegetales con hojas también han sido analizados por HPLC en varios otros países (Tabla 4). En Malasia, de 27 hojas analizadas, tres tenían una concentración de β -caroteno entre 114 y 136 $\mu\text{g/g}$ y 16 contenían entre 30 y 93 $\mu\text{g/g}$ (Tee y Lim 1991). Trece de las hojas verdes comúnmente consumidas en Bangladesh presentaron 54 a 100 $\mu\text{g/g}$ de β -caroteno (Rahman et al. 1990, 1995). La flor de uno de los vegetales (*Brassica campestris*) sobrepasó este rango, teniendo 160 $\mu\text{g/g}$ de β -caroteno. De siete vegetales con hojas enviados para análisis a Taiwan, tres contenían 70, 92 y 105 $\mu\text{g/g}$ de β -caroteno (Chen et al. 1993). Sólo dos de 12 vegetales con hojas comunes analizados en Nepal contenían 30 $\mu\text{g/g}$ o más (58 $\mu\text{g/g}$) de β -caroteno (Vaidya 1995). Una de seis partes con hojas no consumidas por lo general como vegetales (como por ejemplo las hojas de zanahoria, betarraga o nabo) y siete de 15 alimentos con hojas tradicionales y silvestres tuvieron 33 a 92 $\mu\text{g/g}$ de β -caroteno. De 69 vegetales analizados en Japón, 22 tuvieron 30 a 187 $\mu\text{g/g}$ de β -caroteno (Izaki et al. 1986). En otro estudio, el contenido de β -caroteno de siete de 24 vegetales verdes japoneses sobrepasó los 30 $\mu\text{g/g}$ (33 a 91 $\mu\text{g/g}$) (Kon 1989). Al igual que en los estudios realizados en otros países, se pudo observar algunas diferencias en los valores obtenidos en dos investigaciones japonesas para los mismos vegetales, y las hojas resultaron ser las fuentes más ricas. Por otra parte, ninguno de los 78 vegetales de Australia alcanzó los 30 $\mu\text{g/g}$ de β -caroteno (Wills 1987).

Las concentraciones de β -caroteno de hojas investigadas en Finlandia fueron comparativamente bajas. De 10 hojas analizadas, los niveles máximos se obtuvieron en perejil (56 $\mu\text{g/g}$), pepinillo (45 $\mu\text{g/g}$) y espinaca (33 $\mu\text{g/g}$) (Heinonen et al. 1989). En Tanzania, de cinco hojas frescas estudiadas, sólo una tuvo un nivel de β -caroteno mayor a 30 $\mu\text{g/g}$ (Pepping et al. 1988). En los Estados Unidos, el kale, espinaca, betarraga y acelga son fuentes buenas o ricas de β -caroteno (Bushway y Wilson 1982; Khachik et al. 1986; Bureau y Bushway 1986; Bushway 1986; Bushway et al. 1986; Quackenbush 1987).

De 15 vegetales con hojas comercializados en Brasil, sólo siete tuvieron un contenido de β -caroteno entre 34 y 60 $\mu\text{g/g}$ (Ramos y Rodríguez-Amaya 1987; Minazzi-Rodrigues y Penteado 1989; Godoy y Rodríguez-Amaya 1996) (Tabla 4). Sin embargo, 15 hojas comestibles indígenas o silvestres mostraron un contenido de β -caroteno generalmente mayor (Penteado et al. 1986; Minazzi-Rodrigues y Penteado 1989; Mercadante y Rodríguez-Amaya 1990). De dos variedades de kale, cultivados en la misma granja; uno fue significativamente mayor (estadísticamente) en β -caroteno en el invierno que en el verano (54 comparado a 44 $\mu\text{g/g}$) (Mercadante y Rodríguez-Amaya 1991). Todos estos resultados brasileños se obtuvieron mediante CCA.

Cultivos de Raíces

Dos cultivos de raíces, zanahoria y camote de color amarillo-naranja están disponibles a través del mundo y son fuentes importantes de carotenoides (Tabla 4). Sin embargo, se han reportado concentraciones de provitamina A con amplias variaciones para ambas raíces. La zanahoria –de la cual los carotenoides derivan su nombre– es el ejemplo tradicional de un alimento rico en provitamina A y está entre los alimentos más analizados en términos de carotenoides ya sea por HPLC o CCA (Bushway y Wilson 1982; Bureau y Bushway 1986;

Bushway 1986; Bushway et al. 1986; Almeida y Penteadó 1987; Khachik y Beecher 1987; Quackenbush 1987; Simon y Wolff 1987; Heinonen et al. 1989; Heinonen 1990; Abdel-Kader 1991; Tee y Lim 1991; Portocarrero et al. 1992; Chen et al. 1993; Godoy y Rodríguez-Amaya 1993; Reddy et al. 1995; Vaidya 1995; Godoy y Rodríguez Amaya 1996). El nivel promedio de α -caroteno en zanahoria varía desde 5.3 $\mu\text{g/g}$ (Finlandia) (Heinonen 1989) a 106 $\mu\text{g/g}$ en los Estados Unidos (Khachik y Beecher 1987), mientras el β -caroteno fluctúa de 36 $\mu\text{g/g}$ (Estados Unidos) (Bushway et al. 1986) a 182 $\mu\text{g/g}$ (Estados Unidos) (Khachik y Beecher 1987). Estos límites inferiores y superiores se obtuvieron a través de HPLC. La mayoría de las investigaciones ubican la concentración de α -caroteno en aproximadamente 30 $\mu\text{g/g}$ y de β -caroteno en 60 a 70 $\mu\text{g/g}$. Heinonen (1990) determinó el contenido de provitamina A en 19 cultivares de zanahoria color naranja encontrando que el α -caroteno variaba de 22 a 49 $\mu\text{g/g}$, el β -caroteno de 46 a 103 $\mu\text{g/g}$ y el γ -caroteno de 6.3 a 27 $\mu\text{g/g}$. Simon y Wolff (1987) estudiaron siete zanahorias típicas y de color naranja intenso; el contenido total de caroteno que consistía principalmente de β -caroteno y α -caroteno, fluctuó de 63 a 548 $\mu\text{g/g}$. La línea HCM de color naranja muy oscuro contuvo más del doble de caroteno total que cualquiera otra línea testeada.

El camote también ha sido analizado en varios países (Bureau y Bushway 1986; Bushway 1986; Khachik y Beecher 1987; Quackenbush 1987; Almeida y Penteadó 1988; Pepping et al. 1988; Abdel-Kader 1991; Almeida-Muradian y Penteadó 1992; Chen et al. 1993; Reddy et al. 1995; Wasantwisut et al. 1995) y el contenido de β -caroteno varió de 0.2 $\mu\text{g/g}$ (de carne-blanca, Nepal) (Vaidya 1995) a 218 $\mu\text{g/g}$ (de carne-naranja, Brasil) (Almeida-Muradian y Penteadó 1992). Almeida-Muradian y Penteadó (1992) compararon la composición de carotenoides de 10 cultivares de camote producidos en Brasil y descubrieron tres cultivos, originarios de Estados Unidos, ricos en β -caroteno: Heart Gold, 52 $\mu\text{g/g}$; Centennial, 149 $\mu\text{g/g}$ y Acadian 218 $\mu\text{g/g}$. Desafortunadamente, el camote producido y comercializado habitualmente en Brasil no es un cultivar rico en β -caroteno. De diez frutas y vegetales muestreados de supermercados en Egipto, el camote (64 $\mu\text{g/g}$ de β -caroteno), la zanahoria y espinaca fueron consideradas como las mejores fuentes de provitamina A (Abdel-Kader 1991) (Tabla 4). En los Estados Unidos se encontró que el camote contenía entre 50 y 160 $\mu\text{g/g}$ de β -caroteno (Bureau y Bushway 1986; Bushway 1986; Quackenbush 1987; Khachik y Beecher 1987). Debido a su tolerancia a los tifones, sequías, pestes y enfermedades y su importancia como una fuente de almidón y vitaminas, Japón ha establecido un fuerte programa de cultivo del camote (Kukimura et al. 1988, 1990). Las colecciones de germoplasma incluyen a los cultivares locales de Japón; líneas de especies de China, Fiji, Indonesia, Nueva Zelanda, Papua Nueva Guinea, Filipinas, Islas Salomón y Estados Unidos; y camotes silvestres de América Latina.

Calabazas y Zapallos

Otras fuentes potencialmente importantes de provitamina A son las calabazas y zapallos (Tabla 4), especialmente si se consideran su disponibilidad mundial, su facilidad de producción y prolongada duración. En algunos países, las flores y las hojas de estos vegetales frutales también se consumen (Pepping et al. 1988); Wasantwisut et al. 1995; Vaidya 1995). Aunque los datos de diferentes países muestran que los contenidos de

α -caroteno (desde no detectado o no determinado a 12 $\mu\text{g/g}$) y de β -caroteno (0.5 a 15 $\mu\text{g/g}$) en calabazas y zapallos son de muy bajo a bajo (Bureau y Bushway 1986; Bushway et al. 1986; Khachik et al. 1986; Hidaka et al. 1987; Khachik y Beecher 1988; Pepping et al. 1988; Speek et al. 1988; Tee y Lim 1991; Reddy et al. 1995; Vaidya 1995; Wasantwisut 1995), algunos estudios muestran niveles moderados a altos de provitamina A en estos vegetales. De cuatro cucurbitáceas brasileñas comerciales analizadas por CCA (Arima y Rodríguez-Amaya 1988), la nativa Menina Verde, *Cucurbita moschata*, presentó los niveles promedio más altos de α -caroteno (23 $\mu\text{g/g}$) y β -caroteno (39 $\mu\text{g/g}$) al estado madura. Una variedad indígena del Noreste de Brasil, Baianinha, *C. moschata*, presentó valores promedio mucho más altos: 47 $\mu\text{g/g}$ de α -caroteno y 235 $\mu\text{g/g}$ de β -caroteno (Arima y Rodríguez-Amaya 1990). Las marcadas variaciones observadas en los contenidos de provitamina, incluso entre muestras de la misma variedad de cucurbitácea, se pueden atribuir al tiempo prolongado durante el cual estos vegetales se pueden cosechar y a su prolongada vida útil. De hecho, algunos de los niveles bajos que se reportaron se pueden deber a análisis de calabazas y zapallos inmaduros. En los Estados Unidos, algunas muestras de calabaza y zapallo analizadas por HPLC contenían 24 a 84 $\mu\text{g/g}$ de β -caroteno (Bushway 1986; Quackenbush 1987; Khachik y Beecher 1987); una muestra del zapallo contenía 55 $\mu\text{g/g}$ de α -caroteno (Khachik y Beecher 1987). Lee et al. (1984) analizaron seis cultivares de calabaza de invierno mediante CCA y encontraron que el β -caroteno variaba de 7.0 a 17 $\mu\text{g/g}$ mientras el α -caroteno fluctuaba desde trazas a 2.1 $\mu\text{g/g}$.

Frutas

Las frutas por lo general tienen niveles menores de provitamina A que los vegetales con hojas. Sin embargo, por lo general son mejor aceptadas por niños y adultos y se cree que sus provitaminas A son más biodisponibles (Olson 1996; de Pee et al. 1996). A diferencia de las frutas templadas donde predominan los pigmentos antocianinos, muchas frutas tropicales y sub-tropicales son carotenogénicas. Las frutas tropicales populares como el mango y la papaya se consideran como fuentes importantes de provitamina A en los países en desarrollo. El contenido de β -caroteno del mango obtenido en algunos países (Speek et al. 1988; Godoy y Rodríguez Amaya 1989, 1994; Wilberg y Rodríguez-Amaya 1995; Reddy et al. 1995; Wasantwisut et al. 1995; Vaidya 1995) varió de 0.6 $\mu\text{g/g}$ en Tailandia (Speek 1988) a 29 $\mu\text{g/g}$ en la India (Reddy et al. 1995). Cinco cultivares de mango producidos comercialmente en Brasil y analizados por CCA contenían en promedio 8.1 a 25 $\mu\text{g/g}$ de β -caroteno (Godoy y Rodríguez-Amaya 1989, 1994). También se analizaron mangos brasileños de variedades desconocidas mediante HPLC y se encontró que contenían 15 ± 7 $\mu\text{g/g}$ de β -caroteno (Wilberg y Rodríguez-Amaya 1995). El rango de β -caroteno en la papaya es menor: 0.4 a 10 $\mu\text{g/g}$ (Pepping et al. 1988; Speek et al. 1988; Kimura et al. 1991; Godoy y Rodríguez-Amaya 1994; Reddy et al. 1995; Vaidya 1995; Wasantwisut et al. 1995).

Aunque la β -criptoxantina no es determinada en la mayoría de los estudios y su bioactividad es sólo la mitad del β -caroteno, es la mayor provitamina A en la papaya. Los estudios que no incluyen la determinación de β -criptoxantina desestiman el contenido de provitamina A en la papaya. Los rangos de β -caroteno y β -criptoxantina obtenidos por

CCA en cuatro cultivares comerciales de naranja brasileña y papaya roja fueron de 1.2 a 6.1 $\mu\text{g/g}$ y 2.1 a 10 $\mu\text{g/g}$, respectivamente (Kimura et al. 1991; Godoy y Rodríguez-Amaya 1994). Notablemente, la papaya Formosa del caluroso y asoleado estado noreste de Bahía, mostró que tenía mayores contenidos de β -caroteno (6.1 en comparación con 1.4 $\mu\text{g/g}$) y β -criptoxantina (8.6 comparado con 5.3 $\mu\text{g/g}$) que el mismo cultivar de papaya del estado temperado de Sao Paulo. Papayas brasileñas de carne roja de variedades desconocidas, analizadas por HPLC, contenían 1.2 ± 0.3 $\mu\text{g/g}$ de β -caroteno y 6.7 ± 0.9 $\mu\text{g/g}$ de β -criptoxantina (Wilberg y Rodríguez-Amaya 1995).

Otras frutas indígenas menos conocidas merecen investigación. En Brasil, por ejemplo, la fruta del árbol del tomate (*Cyphomandra betacea*) (Rodríguez-Amaya et al. 1983), mamey (*Mammea americana*) (Godoy and Rodríguez-Amaya 1994) y pitanga (*Eugenia uniflora*), especialmente de los calurosos estados noreste de Ceará y Pernambuco (Cavalcante y Rodríguez-Amaya 1992; Godoy y Rodríguez-Amaya 1994), tienen un valor comparable y mayor de vitamina A que el mango. Los dátiles ameritan una mención especial no sólo debido a que tienen por lo general un mayor contenido de provitamina A que los frutos no provenientes de palma, sino que también por la co-ocurrencia de la provitamina con grasa lo que puede dar como resultado una mejor biodisponibilidad, una consideración importante especialmente en países donde la ingesta de grasa es baja. En Brasil, el buriti, un dátil, probó ser la fuente más rica de provitaminas A (Mariath et al. 1989; Godoy y Rodríguez-Amaya 1994, 1995), principalmente β -caroteno (360 $\mu\text{g/g}$), α -caroteno (80 $\mu\text{g/g}$) y γ -caroteno (37 $\mu\text{g/g}$) (Godoy y Rodríguez-Amaya 1994, 1995). Los dátiles bocaiuva (*Acromonia makayàya*) con 59 $\mu\text{g/g}$ de β -caroteno (Hiani y Penteado 1989a); palma de durazno (*Bactris gasipaes*) con 3.2 $\mu\text{g/g}$ de α -caroteno, 22 $\mu\text{g/g}$ de β -caroteno y 18 $\mu\text{g/g}$ de γ -caroteno (Rodríguez-Amaya et al. 1995a); y túcuma (*Astrocaryum vulgare*) con 107 $\mu\text{g/g}$ de β -caroteno (Rodríguez-Amaya et al. 1995a) son también buenas fuentes de provitaminas A.

Un laboratorio en los Estados Unidos reportó una concentración de 216 $\mu\text{g/g}$ para β -caroteno en melón obtenida mediante HPLC (Khachik et al. 1989) (Tabla 4). Otro laboratorio de Estados Unidos (Bureau y Bushway 1986; Bushway et al. 1986) que también utilizó HPLC encontró un nivel mucho menor (16 a 21 $\mu\text{g/g}$). Esto ilustra la necesidad de estudios interlaboratorios incluso dentro de Estados Unidos para asegurar si la diferencia es natural o analítica. En Japón (Watanabe et al. 1991), los cultivares de melón de carne naranja Iroquois, Blenheim Orange, Birdie Red, Quincy y Tiffany contenían 9.2 a 18.0 $\mu\text{g/g}$ de β -caroteno y la naranja suave Hale's Best contenía 4.0 $\mu\text{g/g}$.

Aceites de Palma

Se considera que el aceite de palma roja crudo, extraído del mesocarpio de la palma *Elaeis guineensis* es la fuente vegetal más rica de provitamina A en el mundo (Choo 1994; Rukmini 1994). Ha sido consumido en algunos países africanos por muchos siglos, se trajo a Brasil y recientemente se ha producido en la India (Arumugam 1989). Desafortunadamente, los carotenoides se destruyen cuando se refina el aceite. Recientemente, sin embargo se han realizado esfuerzos para desarrollar la tecnología que permitiría la utilización de esta planta como una fuente de aceite y de carotenoides. La

Tabla 5 muestra las concentraciones de α -caroteno y de β -caroteno, determinadas por HPLC y CCA, del aceite de tres variedades de *E. guineensis*, (Tenera, Psifera y Dura Dumpy) y de *E. oleifera* (una palma de América del Sur) producida en Malasia (Choo 1994) y Brasil (Trujillo-Quijano et al. 1990)

Tabla 5: Contenido de Provitamina A ($\mu\text{g/g}$) del Aceite de Palma

Especie/Variedad	Estudio Malayo HPLC ^a		Estudio Brasileño CCA	
	α -caroteno ^b	β -caroteno ^b	α -caroteno ^b	β -caroteno ^b
<i>E. guineensis</i> Tenera	237	377	164	363
<i>E. guineensis</i> Psifera	142	233	18	202
<i>E. guineensis</i> Dura Dumpy	243	558	296	576
<i>E. oleifera</i>	1854	2483	425	1026
<i>E. guineensis</i> Psifera x híbrido <i>E. oleifera</i>	469	866	-	-
<i>E. guineensis</i> Dura Dumpy x híbrido <i>E. oleifera</i>	846	1311	-	-

^a Estimado a partir de los porcentajes y contenidos totales de carotenoides reportados en la publicación

^b Configuración todos-*trans*

Se encontraron pequeñas cantidades de isómeros *cis* de α - y β -caroteno en las investigaciones de Malasia y Brasil. También se reportaron niveles bajos de γ -caroteno y β -zeacaroteno en el trabajo malayo, mientras se detectó β -criptoxantina, especialmente en *E. oleifera* en el estudio brasileño. La variedad comercial común en ambos países es Tenera (ver Tabla 4). También se analizaron los híbridos en Malasia, y los resultados de α - y β -caroteno se muestran también en la Tabla 5. En comparación, una dosis única del aceite de buriti brasileño contenía 3040 $\mu\text{g/g}$ de β -caroteno (Mariah et al.1989).

MADURACIÓN Y CAMBIOS POST-COSECHA EN LOS CAROTENOIDES

En la mayoría de las frutas carotenogénicas, la maduración es acompañada de un aumento de la biosíntesis de carotenoides, la cual aumenta considerablemente los niveles de los carotenoides, incluyendo a las provitaminas A. Sin embargo, en las frutas que permanecen verdes cuando maduran y en aquellas que deben su color a antocianinas, la pequeña cantidad de carotenoides tiende a disminuir durante la maduración.

Los cambios en los carotenoides durante la maduración de las frutas han sido bien documentados, mostrando patrones divergentes en las distintas frutas (Gross 1987). La Tabla 6 muestra algunos ejemplos del efecto de la etapa de maduración en los carotenoides provitamina A. Los niveles de provitamina A no necesariamente reflejan la tendencia total de los carotenoides debido a que también están presentes los carotenoides no provitamina A, algunas veces como carotenoides principales.

Tabla 6: Niveles de Provitamina A en Algunas Frutas y Vegetales Frutales de acuerdo al Grado de Maduración

Referencia	Fruta/Carotenoide	Inmadura	Concentración (µg/g pulpa)	
			Parcialmente madura	Madura
Gross 1985	Cereza amarilla ^a			
	β-caroteno	1.3	0.6	0.4
Gross 1982/3	Grosella roja			
	β-caroteno	2.4	2.7	0.6
Mínguez-Mosquera y Garrido-Fernández 1989	Oliva Hojiblanca ^a			
	β-caroteno	8.4	5.1	3.7
Mínguez-Mosquera y Garrido-Fernández 1989	Oliva Manzilla ^a			
	β-caroteno	7.3	3.7	2.1
Gross 1982a	Frutilla Tenira			
	β-caroteno	0.4	0.2	tr
Gross 1982b	Kiwi ^a			
	β-caroteno	1.3	0.8	0.1
Huyskens et al. 1985	Kumquat Nagami ^a			
	α-caroteno	0.3	0.3	0.1
	β-caroteno	2.8	1.8	0.2
	α-criptoxantina	0.1	0.1	-
	β-criptoxantina	0.3	0.5	3.2
	criptoflavina	0.2	0.4	0.7
Farin et al. 1983	Híbrido mandarina			
	Jugo de Michal ^b			
	α-caroteno	0.1	0.1	0.1
	β-caroteno	0.1	0.1	0.3
	α-criptoxantina	0.1	0.2	0.1

Referencia	Fruta/Carotenoide	Inmadura	Concentración ($\mu\text{g/g}$ pulpa)		
			Parcialmente madura	Madura	
John et al. 1970	Mango Badami ^a	β -criptoxantina	2.6	3.4	5.6
		β -caroteno	0.2	11.3	45.2
		<i>cis</i> - β -caroteno	tr	tr	1.2
		γ -caroteno	tr	0.1	0.2
		5,6-monoepoxi- β -caroteno	tr	tr	0.7
		mutatocromo	tr	0.4	1.0
		β -criptoxantina	tr	0.5	0.4
Mercadante y Rodríguez-Amaya 1993	Mango Keitt	β -caroteno	1.7	4.2	6.7
		β -criptoxantina	tr	tr	0.2
Mercadante y Rodríguez-Amaya 1993	Mango Tommy Atkins	β -caroteno	2.0	4.0	5.8
		<i>cis</i> - β -criptoxantina	0.1	0.1	0.1
		β -criptoxantina	0.1	0.1	0.3
Wilberg y Rodríguez-Amaya 1995	Papaya	β -caroteno	0.6	n.d.	1.2
		β -criptoxantina	1.7	n.d.	6.7
Rahman y Buckle 1980	Pimienta Long Red Cayenne	α -caroteno	1.0	5.0	9.0
		β -caroteno	8.0	40.0	108.0
		mutatocromo	-	2.0	9.0
		β -criptoxantina	-	4.0	37.0
		β -criptoxantina	-	4.0	37.0
Rahman y Buckle 1980	Pimienta Pacific Bell	α -caroteno	-	0.4	1.0
		β -caroteno	2.0	3.0	16.0
		mutatocromo	-	1.0	4.0
		β -criptoxantina	-	1.0	5.0
Rahman y Buckle 1980	Pimienta Ram Horn	α -caroteno	0.1	4.0	1.0
		β -caroteno	0.8	7.0	28.0
		5,6 monoepoxi- β -caroteno	0.1	0.2	-
		mutacromo	-	1.0	3.0
		β -criptoxantina	-	4.0	15.0
Rahman y Buckle 1980	Pimienta College Gold	β -caroteno	0.4	3.0	36.0
		5,6 monoepoxi- β -caroteno	0.1	0.2	-
		mutatocromo	-	0.6	2.0
		β -criptoxantina	-	4.0	18.0
Rahman y Buckle 1980	Pimienta Golden California Wonder	α -caroteno	-	0.4	2.0
		β -caroteno	2.0	9.0	16.0
		5,6 monoepoxi- β -caroteno	tr	0.2	0.4
		β -criptoxantina	-	0.4	7.0
		5,6-monoepoxi- β -criptoxantina	-	1.0	3.0
		β -criptoxantina	-	0.4	7.0

Referencia	Fruta/Carotenoide	Inmadura	Concentración ($\mu\text{g/g}$ pulpa)	
			Parcialmente madura	Madura
Mínguez-Mosquera y Hornero Méndez 1994 ^a	Pimienta agridulce			
	1er año			
	β -caroteno	8.0	18.0	99.0
	β -criptoxantina	-	12.0	78.0
	2do año			
	β -caroteno	4.7	14.0	106.0
Mínguez-Mosquera y Hornero Méndez 1994a	Pimienta Bola			
	1er año			
	β -caroteno	6.4	8.3	52.0
	β -criptoxantina	-	7.7	37.0
	2do año			
	β -caroteno	6.0	17.0	71.0
Kon y Shimba 1987	Caqui Yotsumizo			
	α -caroteno	0.1	0.5	0.5
	β -caroteno	1.6	5.5	8.5
	β -criptoxantina	0.2	1.6	13.0
	5,6-monoepoxi- β -criptoxantina	-	-	1.8
	Caqui Fuyu			
Homnava et al. 1991	α -caroteno	0.1	0.2	0.3
	β -caroteno	0.4	0.6	1.0
	β -criptoxantina	0.1	0.5	0.6
	Caqui Sheng			
Homnava et al. 1991	α -caroteno	0.2	0.3	0.4
	β -caroteno	0.9	1.0	1.6
	β -criptoxantina	0.1	0.5	1.3
	Zapallo Menina Verde			
Arima y Rodríguez-Amaya 1988	α -caroteno	0.1	n.d.	23.0
	β -caroteno	1.5	n.d.	39.0
	mutacromo	tr	n.d.	0.5
	α -criptoxantina	0.2	n.d.	1.5
Ramos y Rodríguez- Amaya 1987	Escarola			
	β -caroteno	4.2	n.d.	14.0
Ramos y Rodríguez- Amaya 1987	Lechuga			
	β -caroteno	3.5	n.d.	12.0

^a Estimación a partir de los porcentajes relativos y el contenido total de carotenoides informados en la publicación
n.d. – no determinado
tr – traza

Niveles de Carotenoides Durante la Maduración

En las frutas donde el color en la etapa de maduración se debe a las antocianinas como por ejemplo cerezas amarillas (Gross 1985), grosella roja (Gross 1982/83), fruta de la oliva (Minguez-Mosquera y Garrido-Fernández 1989) y frutilla o fresa (Woodward 1972; Gross 1982a) y en frutas que retienen el color verde como por ejemplo kiwi (Gross 1982b), el contenido de carotenoides disminuye durante la maduración (Tabla 6). La misma tendencia se observa con algunas frutas como por ejemplo la banana (Giami y Alu 1994), las cuales se tornan amarillentas debido a que la degradación de la clorofila desenmascara los carotenoides.

En algunas frutas, el nivel de carotenoides disminuye a mitad de temporada y aumenta en cantidad y diversidad posteriormente. Se observó este comportamiento en el kumquat (Huyskens et al. 1985) (Tabla 6), en el flavedo de los cultivares de tangerinas Dancy y Clementinas (Gross 1981) y en la cáscara de un híbrido de mandarina (Farin et al. 1983).

En la mayoría de las frutas y vegetales frutales que contienen carotenoides, la maduración se ve acompañada por un aumento de la biosíntesis de carotenoides como por ejemplo en el damasco (Katayama et al. 1971), mango (John et al. 1970; Mercadante y Rodríguez-Amaya 1993), naranja (Rotstein et al. 1972), melón (Reid et al. 1970), papaya (Wilberg y Rodríguez-Amaya 1995), pimienta (Rahman y Buckle 1980; Mattus et al. 1991); Deli et al. 1992; Howard et al. 1994; Moya et al. 1994; Minguez-Mosquera y Hornero Méndez 1994), caqui (Kon y Shimba 1987; Homnava et al. 1991); jugo de mandarina (Farin et al. 1993), jugo de tangerina (Gross 1982c) y tomate (Koskitalo y Ormrod 1972; Raymundo et al. 1976). A medida que la clorofila se descompone y los cloroplastos se convierten en cromoplastos, el patrón de carotenoides de los cloroplastos se transforma en una composición compleja y los carotenoides aumentan en forma significativa, tanto en número como en cantidad, especialmente los pigmentos principales. Los carotenoides del tipo β,ϵ , particularmente la luteína, disminuyen a medida que los del tipos β, β se imponen.

Damasco y Mango

En el damasco, el pigmento predominante, β -caroteno se acumula rápidamente durante la maduración. Un estudio encontró que se acumulaba desde cantidades traza en la fruta inmadura a aproximadamente 22 $\mu\text{g/g}$ al estado maduro (Katayama et al. 1971). En forma similar, el β -caroteno en el mango aumenta significativamente a medida que se produce la maduración, aunque un estudio previo (John et al. 1970) informa una concentración mucho más alta que la que se encontró en una investigación más reciente (Mercadante y Rodríguez-Amaya 1993) (Tabla 6).

Pimienta

En la pimienta roja y negra se produce un aumento significativo de los pigmentos rojos capsantina y capsorubina -que son inactivos en vitamina A- durante la maduración (Rahman y Buckle 1980; Deli et al. 1992; Mínguez-Mosquera y Hornero-Méndez 1994). También existe un aumento significativo de las provitaminas A β -caroteno y β -criptoxantina. Según un estudio australiano (Rahman y Buckle 1980), el β -caroteno aumentó desde un rango entre 0.4 y 8 $\mu\text{g/g}$ en la etapa inmadura, a un rango entre 16 y 108 $\mu\text{g/g}$ en la etapa completamente madura, en cuatro cultivares rojos y un cultivar amarillo (Tabla 6). El estudio no detectó β -criptoxantina en la etapa inmadura en ninguno de los cultivares, alcanzando 5 a 37 $\mu\text{g/g}$ en la etapa completamente madura. En el cultivo español Agridulce, analizado al momento de la cosecha en dos años diferentes, el contenido de β -caroteno aumentó de 8.0 y 4.7 $\mu\text{g/g}$ en la etapa inmadura, a 99 y 106 $\mu\text{g/g}$ respectivamente al estado rojo (Mínguez-Mosquera y Hornero-Méndez 1994). En el mismo cultivar, la β -criptoxantina fluctuó entre no detectada en cualquiera de los dos años al momento de la cosecha, a 78 y 76 $\mu\text{g/g}$. En la variedad Bola, las concentraciones de β -caroteno variaron de 6.4 y 6.0 $\mu\text{g/g}$ al estado verde a 52 y 71 $\mu\text{g/g}$ respectivamente cuando roja. En forma similar, la β -criptoxantina aumentó desde no detectada al estado verde en ambos años a 37 y 26 $\mu\text{g/g}$ al cosechar. En una pimienta amarilla húngara, se encontró que el β -caroteno aumentó 8 a 9 veces durante la maduración (Matus et al. 1991). También se observaron aumentos significativos en el contenido de α -caroteno, α -criptoxantina y β -criptoxantina en la pimienta amarilla. Una tendencia similar se observó en paprika negra (Deli et al. 1992).

En el pimiento variedad Anaheim, los niveles de α -caroteno y β -caroteno se elevaron desde 0.3 y 4.4 $\mu\text{g/g}$ a 1.2 y 12.4 $\mu\text{g/g}$ respectivamente desde la etapa inmadura a la madura (Moya et al. 1994). Tanto la β -criptoxantina como el γ -caroteno fueron indetectables en la fruta inmadura pero alcanzaron 1.8 y 0.8 $\mu\text{g/g}$ en la pimienta madura.

En tres cultivares de Jalapeño, dos cultivares de Chile, dos cultivares de Bell y un cultivar de Serano, el α -caroteno aumentó de 0.1 - 0.6 $\mu\text{g/g}$ en la etapa inmadura a 0.3 - 2.8 $\mu\text{g/g}$ en las frutas rojas (Howard et al. 1994). Los cambios correspondientes en el β -caroteno fueron 1.9 - 8.2 $\mu\text{g/g}$ a 3.7 - 27 $\mu\text{g/g}$.

Caqui y Tangerina

Desde la etapa inmadura a la etapa de maduración del árbol, la concentración de β -caroteno en el caqui japonés Yotsumizo aumentó de 11 a 73 $\mu\text{g/g}$ en la cáscara y de 1.6 a 8.5 $\mu\text{g/g}$ en la carne (Kon y Shimba 1987) (Tabla 6). Las concentraciones de β -criptoxantina aumentaron desde no detectadas a 53 $\mu\text{g/g}$ en la cáscara y desde 0.2 a 13 $\mu\text{g/g}$ en la pulpa. En el cultivar de caqui Fuyu, la β -criptoxantina aumentó desde 0.1 a 0.6 $\mu\text{g/g}$; el α -caroteno desde 0.1 a 0.3 $\mu\text{g/g}$; y el β -caroteno desde 0.4 a 1.0 $\mu\text{g/g}$ en la parte comestible (incluyendo la piel) desde la etapa completamente madura verde a la etapa madura del árbol (Homnava et al. 1991). En el cultivar Sheng del caqui, la β -criptoxantina se elevó desde

0.1 a 1.3 $\mu\text{g/g}$; el α -caroteno desde 0.2 a 0.4 $\mu\text{g/g}$; y el β -caroteno desde 0.9 a 1.6 $\mu\text{g/g}$. En el jugo de tangerina Dancy (Gross 1982c), la β -criptoxantina aumentó desde 0.9 a 4.9 $\mu\text{g/g}$ y el β -caroteno desde indetectable a 0.6 $\mu\text{g/g}$ durante la maduración.

Tomate

Existe un considerable aumento en el contenido de carotenoides -especialmente en su pigmento principal licopeno- durante la maduración del tomate. Se encontró que los carotenoides de tomates crecidos y madurados en la oscuridad eran cuantitativamente similares a los carotenoides de tomates crecidos en oscuridad o luz y madurados expuestos a la luz (Raymundo et al. 1976). Sin embargo, las concentraciones de todos los carotenoides fueron mayores en los tomates crecidos y madurados con luz. La temperatura de maduración y fecha de cosecha (días después del inicio de la coloración) también tuvieron un efecto marcado en los carotenoides del tomate, y el licopeno, que no tiene actividad de vitamina A, mostró una conducta diferente al β -caroteno (Koskitalo y Ormrod 1972). En un rango de temperatura diurna de 17.8/25.6°C (temperaturas mínima-máxima), siete días después de la etapa de quiebre, el nivel de licopeno fue de 44 $\mu\text{g/g}$ mientras que el β -caroteno fue de 3.0 $\mu\text{g/g}$. Después de 21 días, el licopeno alcanzó 65 $\mu\text{g/g}$ mientras que el β -caroteno disminuyó levemente a 2.2 $\mu\text{g/g}$. En un rango menor de temperatura diurna de 2.8/13.9°C, siete días después de la etapa de quiebre, el contenido de licopeno fue sólo 9.3 $\mu\text{g/g}$ mientras que la concentración de β -caroteno fue 3.6 $\mu\text{g/g}$. Después de 21 días, la concentración de licopeno alcanzó 24 $\mu\text{g/g}$ mientras que el β -caroteno se mantuvo (3.7 $\mu\text{g/g}$).

Vegetales de Hoja Verde

Los niveles de α -y β -caroteno de la Menina Verde (*C. Moschata*) aumentaron desde 0.1 y 1.5 $\mu\text{g/g}$ respectivamente en la etapa inmadura, a 23 y 39 $\mu\text{g/g}$ en el vegetal maduro (Arima y Rodríguez-Amaya 1988) (Tabla 6). En la lechuga y escarola, el contenido de β -caroteno de las hojas maduras fue 3 veces mayor que en las hojas jóvenes tomadas desde los mismos racimos de estos vegetales (Ramos y Rodríguez-Amaya 1987).

Zanahoria

En tres cultivares de zanahoria, analizados periódicamente desde los 60 días después de plantarse, el α -caroteno en Nantes y el β -caroteno en Spartan Classic aumentaron hasta el momento de la cosecha (140 días después de plantarse) (Lee 1986). Sin embargo, el β -caroteno en la variedad K y Nantes y el α -caroteno en la variedad K y Spartan Classic alcanzaron un nivel máximo a los 110 días y disminuyeron levemente con posterioridad.

Carotenogénesis Post-Cosecha

La carotenogénesis puede continuar después de la cosecha en frutas, vegetales frutales y cultivos de raíces intactos. Sin embargo, en hojas y algunos otros vegetales prevalece la degradación durante el almacenamiento post-cosecha, especialmente a temperaturas elevadas y bajo condiciones favorables a la marchitez.

La carotenogénesis puede continuar incluso después de la cosecha siempre que la fruta o vegetal permanezcan intactos. El mango africano verde, duro, tomado en la etapa madura, continuó madurando durante el almacenamiento al ambiente, con un aumento concomitante en el contenido de carotenoides totales (Aina 1990). Los datos obtenidos de tres temporadas de cosecha y de dos áreas diferentes de crecimiento demostraron la importancia de la temperatura post-cosecha (Thomas y Janave 1975). Se observó que la biosíntesis de los carotenoides en la carne del mango indio Alfonso alcanzó su punto máximo a temperaturas de ambiente tropical (28 a 32°C), durante la maduración. El almacenamiento a 7 a 20°C durante 16 a 43 días causó una reducción importante en el contenido total de carotenoides, incluso cuando las frutas se maduraron posteriormente en condiciones óptimas.

El contenido de β -caroteno en la cáscara del caqui japonés se elevó de 73 a 423 $\mu\text{g/g}$, mientras que el nivel de β -criptoxantina disminuyó desde 53 a 21 $\mu\text{g/g}$ durante el almacenamiento (Kon y Shimba 1987). El nivel de β -caroteno en la carne de caqui aumentó desde 8.5 a 18.5 y la β -criptoxantina bajó de 13 a 4.5 $\mu\text{g/g}$ (Tabla 7). El β -caroteno también aumentó en calabazas y zapallos maduros almacenados durante 70 días a temperatura ambiente (aproximadamente 20°C) (Pedrosa et al. 1983).

El contenido de caroteno de pimientos rojos tanto no irradiados como irradiados a dosis adecuadas para desinfectar, aumentó levemente durante tres semanas de almacenamiento a 5°C (Mitchell et al. 1990). Un tubérculo de papa indio mostró un comportamiento irregular (Bhushan y Thomas 1990) al aumentar el contenido de carotenoides con el almacenamiento a 4°C y 25 a 30°C, pero disminuyó a 15°C y 20°C.

En la zanahoria Nantes, almacenada a 2°C y 90% de humedad relativa, los niveles de α -caroteno y β -caroteno aumentaron levemente hasta los 100 y 125 días y luego disminuyeron (Lee 1986) (Tabla 7). Se pudo distinguir algunos cambios en los contenidos de α y β -caroteno en zanahoria almacenada en frío (4°C) en oscuridad y con luz, pero estos cambios no fueron estadísticamente significativos, excepto por un 47% de pérdida de *cis*- β -caroteno en el almacenamiento con luz (Kopas-Lane y Warthesen 1995). Se concluyó que el almacenamiento en frío en oscuridad o luz no afectaba los carotenoides principales de la zanahoria.

En algunos vegetales, especialmente hojas, se han reportado pérdidas en el contenido total de carotenoides. Tanto la pimienta dulce como el perejil perdieron sobre el 20% de sus contenidos de carotenoides totales durante nueve días de almacenamiento en cámara fría (7°C) (Takama y Saito 1974). Las pérdidas de carotenoides ascendieron a 60 y 80% a 15°C y 17°C respectivamente. El puerro perdió aproximadamente 53% de su contenido total de carotenoides al cabo de tres días a ambas temperaturas. La col, col rizada, nabos verdes y nabo gallego sufrieron pérdidas más rápidas de carotenos en condiciones favorables a la marchitez; una alta temperatura de almacenamiento agravó estas pérdidas (Ezell y Wilcox 1962). En la col, las pérdidas promedio de carotenos fueron 1.6% a 0°C, 22.4% a 10°C y 66.7% a 21°C después de cuatro días de almacenamiento. Las pérdidas correspondientes en la col rizada fueron de 7.5, 34.3 y 67.9%.

Tabla 7: Retención de Provitaminas A en Frutas Intactas y Vegetales Durante el Almacenamiento Post-Cosecha

Referencia	Condición de almacenamiento Post-cosecha	Fruta o vegetal	Carotenoide	Retención %
Kon y Shimba 1987	No especificado	Caquí japones	β -caroteno	218
			α -criptoxantina	35
Lee 1986	2°C, 90% HR, 100 días	Zanahoria	α -caroteno	121
			β -caroteno	114
Lee 1986	2°C, 90% HR, 155 días	Zanahoria	α -caroteno	88
			β -caroteno	106
Kopas –Lane y Warthesen 1995	4°C, oscuridad, 12 días	Zanahoria	α -caroteno	96
			todos- <i>trans</i> - β -caroteno	95
			9- <i>cis</i> - β -caroteno	73
			13- <i>cis</i> - β -caroteno	129
Kopas –Lane y Warthesen 1995	4°C, luz, 12 días	Zanahoria	α -caroteno	118
			todos- <i>trans</i> - β -caroteno	100
			9- <i>cis</i> - β -caroteno	53
			13- <i>cis</i> - β -caroteno	136
Simonetti et al. 1991	4-6°C, 95% HR, 21 días	Espinaca	β -caroteno	89
Simonetti et al. 1991	4-6°C, 95% HR, 21 días	Guisantes	β -caroteno	54
Kopas –Lane y Warthesen 1995	4°C, oscuridad, 8 días	Espinaca	todos- <i>trans</i> - β -caroteno	82
			9- <i>cis</i> - β -caroteno	90
			13- <i>cis</i> - β -caroteno	88
Kopas –Lane y Warthesen 1995	4°C, luz, 8 días	Espinaca	todos- <i>trans</i> - β -caroteno	59
			9- <i>cis</i> - β -caroteno	52
			13- <i>cis</i> - β -caroteno	55
Wu et al. 1992	4°C, 3 días	Porotos verdes	β -caroteno	114
Wu et al. 1992	4°C, 3 días, luego 10-16°C con luz fluorescente, 4 días	Porotos verdes	β -caroteno	110
Wu et al. 1992	4°C, 3 días, luego 10-16°C con luz, 3 días, luego 4°C, 3 días	Porotos verdes	β -caroteno	103
Wu et al. 1992	4°C, 3 días	Brócoli	β -caroteno	117
Wu et al. 1992	4°C, 3 días, luego 10°C en una cámara fría con luz y entrada para personas, 4 días	Brócoli	β -caroteno	100
Wu et al. 1992	4°C, 3 días, luego 10°C en una cámara fría con luz y entrada para personas, 3 días luego 4°C, 3 días	Brócoli	β -caroteno	88

Simonetti et al. (1991) encontraron que disminuyeron los niveles de β -caroteno en espinaca y guisantes almacenados en cajas durante 21 días a 4 a 6°C y 95% de humedad relativa (Tabla 7), aunque la pérdida en espinaca no fue estadísticamente significativa. En otro estudio (Kopas-Lane y Warthesen 1995), todos los *trans*- β -caroteno en espinaca mostraron un 18% de pérdida después de ocho días en la oscuridad a 4°C. Las pérdidas fueron mayores con exposición a la luz a la misma temperatura, ascendiendo a 41% para todos los *trans*- β -caroteno, 48% para 9-*cis* β -caroteno y 45% para 13-*cis* β -caroteno después de ocho días.

Wu et al. (1992) simularon las condiciones del mercado detallista en los EEUU para porotos verdes y brócoli. Los vegetales se mantuvieron durante cinco horas post-cosecha a temperatura ambiente (20 a 25°C) y se refrigeraron a 4°C durante tres días para simular el tiempo de transporte y temperatura. Los porotos verdes fueron luego sometidos a condiciones de exhibición a 10 y 16°C bajo luz fluorescente, mientras que el brócoli se mantuvo a 10°C en una cámara fría con luz y entrada de personas durante cuatro días, asemejando las condiciones de mantención en los supermercados. Se sacó una parte de los vegetales después de tres días de almacenamiento en envase de exhibición o en cámara fría y se colocó en un refrigerador casero a 4°C durante tres días para simular las condiciones de almacenamiento del consumidor en su casa después de la compra. No se observaron cambios estadísticamente significativos en el nivel de β -caroteno bajo las diferentes condiciones de mercado detallista simuladas (Tabla 7).

EVALUANDO LA RETENCION DE PROVITAMINA A

Se han reportado resultados contradictorios para la retención de carotenoides, incluso para un mismo alimento, tipo y condiciones de procesamiento y almacenamiento. Esto puede deberse en parte al análisis y cálculo de la retención, más que a cambios reales que ocurren en los alimentos. Por ejemplo, los supuestos aumentos en la concentración de provitamina A después de un tratamiento térmico se pueden deber a la mayor facilidad con que se pueden extraer los carotenoides de muestras cocinadas o procesadas en comparación con muestras crudas; a una degradación enzimática de las muestras crudas durante el análisis; y a pérdidas no contabilizadas de humedad y sólidos solubles que concentran y aumentan el contenido de carotenoides por unidad de peso. Por otra parte, la degradación de carotenoides durante el análisis se puede atribuir en forma errónea al procesamiento y almacenamiento.

Los problemas con las determinaciones de carotenoides aumentan cuando el objetivo es evaluar los efectos del procesamiento y almacenamiento casero o industrial en las provitaminas. Aunque la literatura sobre la retención o pérdida de carotenoides durante el procesamiento y almacenamiento parece ser abundante, la mayoría de los trabajos implican mediciones del contenido de caroteno o de carotenoides totales. Aparte del hecho que los valores totales son sólo estimaciones gruesas, la influencia de diferentes factores asociados con el procesamiento y almacenamiento pueden ser observados adecuadamente sólo si las provitaminas A son cuantificadas en forma específica e individual.

Se han informado resultados altamente contradictorios incluso para el mismo alimento y el mismo tipo y condiciones de procesamiento y almacenamiento. Este puede deberse, al menos en parte, no a cambios reales en los alimentos sino que al análisis y al cálculo de la retención. Por ejemplo, los aumentos declarados en las concentraciones de β -caroteno y otras provitaminas durante el procesamiento térmico pueden no ser aumentos verdaderos debido a que el sistema enzimático responsable de su biosíntesis ya ha sido desactivado. Las transformaciones químicas que ocurren en el tratamiento con calor involucran la isomerización y epoxidación de las provitaminas A, no su formación. Los supuestos aumentos de β -caroteno podrían deberse simplemente a la mayor facilidad con la cual se pueden extraer los carotenoides de muestras cocidas o procesadas en comparación con la extracción en alimentos frescos, donde los carotenoides están protegidos físicamente y/o están combinados con otros componentes de los alimentos que impiden la penetración de los solventes y extracción. Los aumentos también podrían deberse a una humedad no contabilizada y a pérdidas de sólidos solubles, las cuales concentrarían y aumentarían los niveles de provitamina A por unidad de peso de un alimento. Por otra parte, podría no estar siendo considerada la absorción de agua o aceite, la cual diluiría las provitaminas y disminuiría sus concentraciones por unidad de peso. También, se puede atribuir en forma

errónea la degradación de provitaminas A durante el análisis a la cocción, procesamiento o almacenamiento.

Aunque es importante informar el contenido de provitamina A por unidad de peso de alimento cocido o procesado (como se consume el alimento) en las tablas de composición de alimentos, los cálculos para la retención de nutrientes se deberían referir al peso de muestra original (base de peso en estado fresco) a fin de explicar los cambios en el peso (pérdidas de agua y de sólidos solubles o aumentos de agua y aceite). Alternativamente, los cálculos se pueden realizar en peso seco (cuando la pérdida de sólido soluble es despreciable) o sobre la base de sólido insoluble (cuando la pérdida de sólido soluble sea significativa). De preferencia, se debería calcular el porcentaje de retención verdadera (RV) de acuerdo a Murphy et al. (1975).

$$\% \text{ RV} = \frac{\text{Contenido de nutrientes por g de alimento cocido} \times \text{g de alimento después de la cocción}}{\text{Contenido de nutrientes por g de alimento crudo} \times \text{g de alimento antes de la cocción}} \times 100$$

Al comparar la retención de diversos nutrientes bajo diferentes situaciones de cambios en el peso, Murphy et al. encontraron que cuando se calculaba la retención sobre una base de peso seco, la retención verdadera estaba sobrestimada en casi todos los casos. Sin embargo, no siempre es posible obtener información sobre el peso de los alimentos antes y después del procesamiento, especialmente bajo condiciones de producción industrial.

También es importante especificar las condiciones de procesamiento y almacenamiento (tiempo, temperatura, etc.) y utilizar muestras pareadas (i.e. muestras comparables crudas y cocidas). El uso de muestras pareadas en estudios de retención obviaría las disparidades debido a factores tales como diferencias varietales, efectos estacionales o climáticos, grado de madurez o una distribución desuniforme del analito en el alimento o lote de alimento, de tal modo que los errores de muestreo no constituirían un problema. Por ejemplo, Speck et al. (1988) prepararon muestras de vegetales con hojas en tallos al sacar las hojas en forma sistemática desde la parte alta a las raíces y dividiéndolas alternativamente en dos partes. Una parte se analizó en forma cruda y la otra después de procesarla. En el Laboratorio de Ciencias de Alimentos de la Universidad Estatal de Campinas, Brasil, las frutas o vegetales frutales son cortados en cuatro partes en forma longitudinal: se toman las dos partes opuestas para análisis de muestras crudas y las otras dos secciones opuestas se envían para procesamiento antes de su análisis.

También se recomienda que los datos sean analizados estadísticamente de tal modo que se pueda apreciar el significado real de los resultados.

EFECTOS DEL PROCESAMIENTO CASERO SOBRE EL CONTENIDO DE PROVITAMINA A DE LOS ALIMENTOS

Debido a las discrepancias en los resultados obtenidos y al comportamiento diferente de los carotenoides en distintos alimentos, no se pueden dar recomendaciones específicas en relación a las condiciones óptimas para la preparación/procesamiento y almacenamiento casero en alimentos dados. Sin embargo, se pueden elaborar orientaciones generales como por ejemplo mantener al mínimo el tiempo de procesamiento/calentamiento y la temperatura; evitar cortar en pedazos pequeños o macerar; reducir el intervalo entre el corte/picado y el procesamiento; lavar antes de cortar; cocinar con la tapa de la olla, y mantener en su mínimo el tiempo de almacenamiento. En general, las pérdidas de provitaminas A van aumentando desde el microondas, a el vapor, a la ebullición y al salteado respectivamente. La fritura en profundidad, la cocción prolongada, la combinación de diversos métodos de preparación/procesamiento, el horneado y el encurtido dan como resultado pérdidas sustantivas de provitaminas A.

La mayoría de la información disponible del contenido de provitamina A de los alimentos se refiere a materiales crudos. Sin embargo, es evidente que se requieren en forma urgente datos relacionados con la forma en que la población consume los alimentos, al igual que tiene que determinarse la influencia del procesamiento y almacenamiento sobre los niveles de provitamina A. Este tipo de información ayudará a los consumidores e industrias procesadoras a elegir las condiciones de procesamiento y almacenamiento que favorecen la retención de provitamina A.

Los resultados de los estudios de retención son difíciles de evaluar, como se discutió en la sección anterior. Los obstáculos principales a una interpretación de los resultados con cierto significado en muchos documentos científicos son:

- Las condiciones de procesamiento y almacenamiento no son o están parcialmente descritas.
- Los distintos alimentos se preparan o cocinan/procesan en forma diferente, lo que dificulta las comparaciones entre métodos de procesamiento.
- Se utilizan condiciones diferentes para el mismo método de procesamiento
- No se especifica el procedimiento utilizado para el cálculo de la retención o pérdida.
- No se consideran los cambios de peso y el porcentaje de pérdida o retención se calcula a partir de las concentraciones de provitaminas por unidad de peso fresco y cocido.

COCCION

Dietz et al. (1988) compararon el escaldado con agua y con vapor en cuatro vegetales, y se calculó la retención de acuerdo a Murphy et al. (1975) (Tabla 8). La ebullición durante 30 minutos retuvo el 47 y 60% del β -caroteno en lechuga y zanahorias, respectivamente. Una retención completa de β -caroteno ocurrió en hojas de porotos alado hervidas y espinaca; El porcentaje de retención mayor al 100% se debió probablemente a la extracción más eficiente de las muestras tratadas con calor. La retención de α -caroteno en zanahorias hervidas fue de 64%. El vapor durante 30 minutos dio como resultado una buena retención de α -caroteno y β -caroteno en todos los vegetales.

Tabla 8: Retención de β -caroteno Durante el Procesamiento Casero en Diferentes Países

País/Referencia	Cálculo de la retención	Condiciones de cocción	Alimento	Retención de β -caroteno (%)
EEUU				
Dietz et al. 1988	Retención calculada de acuerdo a Murphy et al. (1975)	Escaldado con agua: 10g de muestra cocida en 100 ml de agua hirviendo por 30 minutos	Porotos alados	119
			Lechuga	47
			Zanahoria	60 ^a
			Espinaca	112
		Escaldado con vapor: 10g de muestra cocida al vapor en un vaporizador casero por 30 minutos a 100°C	Porotos alados	83
			Lechuga	104
			Zanahoria	99 ^a
			Espinaca	132
PAKISTAN				
Nagra y Khan 1988	Retención calculada sobre la base del peso original del vegetal no cocido	Cocción: 5 g de muestra cortada cocida en agua destilada durante 60 min. (simulando el método tradicional)	Calabaza amarga	78
			Brinjal	62
			Repollo	56
			Colocasia	67
			Zanahoria (parte roja)	41
			Zanahoria (parte blanca)	67
			Coliflor	67
			Colbash	66
			Gand godhi	50
			Nabo verde	67
			Lady's finger	50
			Chiles grandes	76
			Guisantes	61
			Espinaca	75
Calabaza	50			
Esponja vegetal	90			
Nabo amarillo	81			

País/Referencia	Cálculo de la retención	Condiciones de cocción	Alimento	Retención de β-caroteno (%)		
TAILANDIA						
Speek et al. 1988	Retención calculada como porcentaje de alimento fresco	Cocción: 20 g de muestra sumergida durante 2-8 minutos en agua potable hirviendo	Hojas de melón amargo	89		
			Cilantro	85		
			Albahaca dulce	68		
			Apio	84		
			Espinaca parra	89		
			Lechuga, sin cabeza	77		
			Albahaca peluda	76		
			Cha-om	69		
			Calabaza de pantano	50		
		Salteado: 20 g de muestra cortada en pedazos, frita 3-5 minutos en 5 ml de aceite precalentado a 200°C, 3 ml de agua agregada durante la fritura	Repollo chino	76		
			Repollo chino	84		
			Col chino	24		
			Cebollino chino	19		
			Repollo	57		
		Fermentación: 20 g de muestra triturada, se agregó sal y sobrenadante de vegetal ya fermentado. Se dejó fermentar durante 1.5 días	Guisantes dulces	92		
			Cebollino chino	95		
			Planta de cebolla	78		
		Secado al sol: las hojas se exponen a la luz solar directa durante 2 días	Hoja de mostaza encurtida	67		
			Berenjena, de forma redonda	22		
Arbol neem	53					
Arbol neem duplicado	56					
Wasantwisut et al. 1995	La retención basada en el contenido de β -caroteno por peso fresco y peso cocido	Escaldado: 98°C, 5 minutos	Amaranto	50		
			Albahaca dulce	39		
			Repollo de pantano	89		
		Ebullición: 97°C, 5 minutos 2 minutos	Repollo chino	93		
			Bai kaprao	95		
		Freir revolviendo: 178°C	Mimosa acuosa	96		
			Bai kaprao	80		
			3.5 minutos	Repollo de pant.	82	
			2 minutos	Mimosa acuosa	58	
		3 minutos	Bai kaprao	72		
		INDIA				
		Padmaviti et al. 1992	Cálculo de la retención basado en el peso del vegetal crudo	Condiciones de procesamiento no especificadas. Procesamiento mínimo (ensaladas)	Ensalada de tomate (pedazos)	94
					Ensalada de zanahoria (pedazos)	91
Ensalada de zanahoria (rallada)	89					
Raita de tomate	81					

País/Referencia	Cálculo de la retención	Condiciones de cocción	Alimento	Retención de β -caroteno (%)
		Cocción-picado, salteado por tiempo corto	Zanahoria bhaji	82
			Methi chanadal bhaji	71
			Palak bhaji	71
			Palak paneer	70
			Mayalu bhaji	67
			Aloo methi	56
			Aloo palak	50
			Zapallo amarillo bhaji	39
			Amaranto adobado	34
			Colocasia patal bhaji	36
			Methi dal	34
		Picado + vapor + fritura en superficie	Cilantro vadi	92
			Methi muthia	56
			Colocasia patra	38
		Picado + fritura en profundidad	Mayalu pakoda	39
			Palak bhaji	28
			Palak bhaji	26
			Cilantro vadi (frito en profundidad)	29
			Methi muthia (frito en profundidad)	26
			Patra (frito en profundidad)	15
		Picado y Asado	Methi thepla	90
		Maceración/Molienda	Cilantro chutney (juguera)	87
			Hojas de curry chutney	81
			Ratia de menta	81
			Gongura chutney	74
			Menta chutney (molida en piedra)	67
			Menta + cilantro chutney (molida en piedra)	60
		Cocción prolongada + rallado/molienda	Zapallo halwa	31
			Crema de sopa de zanahoria	30
			Sopa Palak	21
			Zanahoria halwa	20
			Tomate chutney	19
Reddy et al. 1995	No se especifica la base del cálculo de la retención	No se especifican las condiciones de proceso Corte/Salteado	Amaranto dhal (con tamarindo)	71
			Palak dhal (con tomate)	77

País/Referencia	Cálculo de la retención	Condiciones de cocción	Alimento	Retención de β -caroteno (%)
		Molienda	Cilantro chutney Polvo de hoja de curry	76 76
		Rallado/calentamiento prolongado	Zanahoria halwa Zapallo halwa	48 10
		Cocción sin tapa	Amaranto Koyyalkura Bacchali Palak Camote Zanahoria Zapallo Tomate	17 36 52 46 21 67 39 100
		Cocción con tapa	Amaranto Koyyalkura Bacchali Palak Camote Zanahoria Zapallo Tomate	31 45 62 49 43 65 36 100
		Vapor	Amaranto Koyyalkura Bacchali Palak Camote Zanahoria Zapallo Tomate	17 60 63 70 36 72 36 100
		Salteado	Amaranto Koyyalkura Bacchali Palak Camote Zanahoria Zapallo Tomate	60 62 75 71 46 74 53 100
BANGLADESH				
Rahman et al. 1990	Retención basada en el contenido de β -caroteno por peso fresco y cocido	Método I: vegetal con hoja picado, lavado, calentado 7-9 minutos en el agua adherida a las hojas, luego puestos en otra olla en las que se han frito en aceite sal, cebolla, ajo y chiles. La mezcla se fríe durante 4-6 minutos	Lal sak Mula sak Palang sak Pui sak	69 60 57 67

País/Referencia	Cálculo de la retención	Condiciones de cocción	Alimento	Retención de β -caroteno (%)
		Método II: los vegetales picados y lavados con la misma cantidad de sal, aceite y condimentos como en el Método I, se hierve durante 8-10 min con la tapa puesta de la olla	Lal sak	88
			Mula sak	86
			Palang sak	89
			Motor sak	89
BRASIL				
Rodríguez-Amaya et al. 1995b	Retención calculada según Murphy et al. (1975)	Ebullición: el vegetal cortado se cocina 5 min. en agua hirviendo	Brocoli	84
			Okra	68
			Espinaca	77
		Ebullición: el vegetal cortado se cocina 10 min. en agua hirviendo	Zanahoria Nantes	91 ^b
			Zanahoria Imperador	94 ^b
Ebullición: el vegetal cortado se cocina 15 min. en agua hirviendo	Porotos verdes	82		
	Berenjena India	82		
		Salteado: el vegetal cortado se fríe revolviendo durante 10 minutos en una pequeña cantidad de aceite	Calabaza	90 ^b
			Porotos verdes	63
			Calabaza	83
Almeida y Penteadó 1987	No se especifica la base del cálculo de la retención	Ebullición: no se especifican las condiciones	Zanahoria	86 ^c
Almeida-Muradian y Penteadó 1992	Cálculo de retención basado en el peso de la raíz cruda	Ebullición: Camote pelado y cortado en pedazos pequeños y cocinados durante 10 minutos en agua hirviendo (98°C)	Camote	96
			Acadian	87
			Centennial	94
			Heart Gold	94
			Vineland Bush	82

^a Ebullición y vapor dieron como resultado un 64 y 139% de retención, del α -caroteno respectivamente

^b α -caroteno de zanahorias de Nantes, zanahorias Imperador y calabaza fue retenido en un 90, 92 y 90% respectivamente, en la ebullición. En la calabaza salteada, se retuvo el 80% de α -caroteno y el 78% de α -criptoxantina

^c α -caroteno se retuvo en un 88%

Al hervir 18 vegetales españoles por 10 a 38 minutos en una olla tapada y con un mínimo de agua se obtuvieron niveles mucho más altos de β -caroteno que en estos vegetales no cocidos (Granado et al. 1992). Esto se debió aparentemente a la mayor extractibilidad de los carotenoides en las muestras hervidas y no a una retención verdadera, debido a que el cálculo sobre la base del peso seco resultó en retenciones de más del 100% (101 a 344% para β -caroteno, 129 a 313% para α -caroteno y 107 a 326% para β -criptoxantina). Incluso con una extracción exhaustiva en tres vegetales, los niveles de β -caroteno, expresados en términos de peso crudo, fueron aún mayores en las muestras sometidas a vapor y a

microondas, dando retenciones de 111 a 118% para vapor y 102 a 113% para microondas (Khachik et al. 1992). Sorprendentemente, al hervir porotos verdes durante una hora dio como resultado un 112% de retención.

Por otra parte, la cocción tradicional en agua durante 60 minutos de 17 vegetales paquistaníes llevó a un 41 a 90% de retención (promedio 65%) en la actividad de la vitamina A (Nagra y Khan 1998) (Tabla 8). Estos menores niveles de retención se atribuyeron al intervalo entre la preparación y la cocción y al prolongado tiempo de cocción. El revolviendo frecuente durante la cocción también podría haber expuesto al β -caroteno a la oxidación atmosférica.

Speek et al. (1988) (Tabla 8) reportaron retenciones bajas a buenas de β -caroteno durante el procesamiento. Al cocer nueve vegetales en agua potable hirviendo se obtuvo como resultado un 50 a 89% de retención de β -caroteno (como porcentaje de fresco) con un promedio de 76%. Seis vegetales salteados tuvieron un 19 a 92% de retención de β -caroteno con un promedio de 59%. Cuatro vegetales fermentados durante 1.5 días dieron un rango de 22 a 95% de retención con un promedio de 66%. Cuatro vegetales secados al sol durante dos días retuvieron sólo 39 a 56% (promedio 50%) del β -caroteno. En otro estudio tailandés (Wasantwisut et al. 1995), al escaldar, ebulir y freir revolviendo algunos vegetales se obtuvo una retención de β -caroteno de 89 a 95%, 80 a 96% y 58 a 82% respectivamente.

Padvamati et al. (1992) (Tabla 8) investigaron la influencia de diferentes procedimientos de preparación/procesamiento sobre el contenido de β -caroteno de los vegetales indios más comúnmente consumidos. La retención fue mayor cuando el procesamiento/calentamiento se mantuvo en un nivel mínimo. La destrucción del β -caroteno fue menos en la preparación de ensaladas con una retención que varió de 81 a 94% (promedio 89%), incluso cuando se cortaron o se rallaron los vegetales. La retención fluctuó de 34 a 82% (promedio 55%) cuando los alimentos se trituraron y saltearon. Después de triturar, vaporizar, más un fritura superficial, la retención de β -caroteno estuvo entre 38 a 92% (promedio 62%). La trituración y fritura en profundidad dio como resultado una retención mucho menor, 15 a 39% (promedio 27%), lo cual es comprensible si se considera el severo tratamiento térmico y la liposolubilidad de los carotenos. La maceración y molienda llevó a una retención de 60 a 87% (promedio 75%) del β -caroteno. Al utilizar una licuadora/mezcladora en chutneys se redujo menos el β -caroteno que con el uso de una tradicional piedra de moler. Este descubrimiento se atribuyó a una maceración más prolongada en la piedra de moler, lo cual permitió una mayor oxidación. La cocción prolongada combinada con el rallado y molienda disminuyó el β -caroteno en forma considerable, la retención alcanzó 19 a 31% con un promedio de 24%.

También se verificaron pérdidas de β -caroteno en otro estudio indio (Reddy et al. 1995) donde se utilizaron los mismos ocho vegetales en varios procesos diferentes, lo que facilita las comparaciones (Tabla 8). Simples modificaciones en las prácticas de cocción llevaron a diferencias apreciables en la retención. La cocción en una olla sin tapa retuvo un 17 a 100% (promedio 47%) de β -caroteno. Con la tapa puesta, la retención fue mayor, fluctuó de 31 a 100% (promedio 54%). Cortar los vegetales después de lavar no resultó en una

pérdida significativa de β -caroteno. Por otra parte, una pérdida de 10 a 12% ocurrió cuando los vegetales se cortaron y luego se lavaron, a pesar de la insolubilidad de los carotenoides en agua. Al cocer al vapor se produjo 17 a 100% de retención (promedio 57%) y al saltear, 46 a 100% (promedio 68%). Aunque es una pobre fuente de provitamina A, el tomate demostró una retención excelente de este nutriente (100% en todos los tratamientos). De hecho, se reportó que la adición de tomate a una receta aumentó la estabilidad de β -caroteno (Bhaskarachary et al. 1996). Esto concuerda con una investigación previa en guava y papaya, ricas en licopeno, donde los carotenoides de provitamina A resistieron el procesamiento y almacenamiento debido probablemente a que el licopeno ejerció un efecto protector o fue oxidado en forma preferencial (Padula y Rodríguez-Amaya 1987; Godoy y Rodríguez-Amaya 1991).

Notablemente en otros estudios, el salteado dio como resultado mayores pérdidas que la ebullición (Speck et al. 1988; Rodríguez-Amaya et al. 1995b; Apriyantano y Yumono 1995) pero, como Reddy et al. (1995) demostraron, las pérdidas por ebullición fueron mayores que las de la vaporización (Dietz et al. 1988). Reddy et al. obtuvieron un 76% de retención de β -caroteno en la preparación (molienda) del cilantro chutney y el polvo de la hoja del curry. La retención en la preparación de zanahoria y zapallo halwa (rallado/calentamiento prolongado) fue de sólo un 48 y 10%, respectivamente. Aunque los porcentajes no son exactamente los mismos, estos últimos hallazgos concuerdan con los de Padmavati et al. (1992).

Rahman et al. (1990) investigaron tres prácticas tradicionales de preparación de alimentos en Bangladesh (Tabla 8).

- **Método I:** Se trituraron vegetales de hojas verdes tiernos en pedazos pequeños, se lavaron y calentaron siete a nueve minutos en el agua adherida a las hojas (no se agregó agua adicional). El líquido que se juntó en el fondo de la olla de cocción no se eliminó ni tampoco se permitió evaporar. Los vegetales se colocaron luego en otra olla en la que se habían frito sal, cebolla, ajo y chiles frescos o secos en una pequeña cantidad de aceite; la mezcla se frió durante cuatro a seis minutos. Este el método de cocción más comúnmente utilizado en Bangladesh rural.
- **Método II:** Se hirvieron pedazos triturados y lavados de vegetales con cantidades similares de sal, aceite y condimentos como en el Método I durante ocho a diez minutos con la tapa puesta. La tapa se abrió dos a cuatro veces para permitir la evaporación. Este método se utiliza tanto por las personas rurales como urbanas.
- **Método III:** Se colocaron vegetales y unos pocos chiles frescos en la parte superior de un arroz cocido parcialmente. Una vez cocidos, se sacaron los vegetales y se machacaron con cebolla cruda, sal y aceite de mostaza para hacer una pasta que se consumiría con arroz. Este método se utiliza con poca frecuencia y sólo en dos distritos de Bangladesh.

Los métodos I y II involucraron cuatro vegetales comunes. Ambos métodos fueron realizados por 10 mujeres que tenían experiencia en estas prácticas culinarias. El método III

se realizó con sólo un vegetal por ocho mujeres que no tenían experiencia con esta práctica culinaria pero que fueron entrenadas para cocinar de esta forma. La menor retención de β -caroteno fue con el Método I (57 a 69%) y la más alta con el Método III (89 a 98%). El Método II produjo una buena retención (86 a 89%).

Al hervir siete vegetales (cinco pruebas para cada vegetal) hasta casi su punto final (5 a 15 minutos) dio como resultado retenciones promedio de β -caroteno de 68 a 94%, mientras que al saltar dos de los vegetales, la retención fue de 63 a 83% (Rodríguez-Amaya et al. 1995b) (Tabla 8). Las zanahorias cortadas y hervidas retuvieron un 86% de β -caroteno (Almeida y Penteado 1987); la retención en camotes hervidos y cortados varió de 82 a 96% (Almeida-Muradian y Penteado 1992).

En Indonesia, al hervir (2 a 15 minutos) y guisar (2 a 5 minutos en aceite) hojas verdes bajo condiciones comúnmente utilizadas, dio como resultado retenciones de β -caroteno de 14 a 61% y 20 a 38% respectivamente (Hermana y Muhilal 1995) (Tabla 9). Cambios simples en estas prácticas que involucraron un menor tiempo de cocción, la adición de agua y el uso de la tapa aumentó las retenciones de un 25 a 94% y de 69 a 94% respectivamente. No se consideró factible cambiar la temperatura debido a que la mayoría de las familias cocinan a una presión atmosférica normal.

Tabla 9: Comparación de la Retención de β -caroteno en Métodos de Cocción de la Comunidad de Indonesia Simulados en el Laboratorio y en Métodos Modificados.

Vegetal/Método de cocción	Retención ^d (%)	
	Método Comunitario	Método Modificado ^e
Hervir ^a		
Hojas de Cassava	45	94
Hojas de Papaya	61	71
Hojas de Sauropus	14	25
Guisar ^b		
Amaranto	38	73
Repollo chino	20	94
Repollo de pantano	36	69
Hojas de chajota	-	46
Vapor ^c		
Hojas de zapallo	-	69
Repollo de pantano	-	85
Hojas de chajota	-	88

^a 2 -15 minutos a temperatura de ebullición (95-100°C), dependiendo del tipo/textura de los vegetales

^b 2 - 5 minutos en aceite (150-180°C)

^c 2 - 20 minutos en agua hirviendo (95-100°C)

^d Calculado sobre la base de peso seco

^e La modificación involucró un menor tiempo de cocción, adición de agua (guisar) y el uso de tapa durante la cocción.

Fuente: Hermana y Muhilal (1995)

En las hojas de camote sometidas a cocción en microondas, a 2450 MHz con una potencia de salida de 700W hasta ocho minutos (Chen y Chen 1993), el nivel de β -caroteno disminuyó desde 152 $\mu\text{g/g}$ a 114 $\mu\text{g/g}$ en dos minutos, a 72 $\mu\text{g/g}$ en cuatro minutos y a 44 $\mu\text{g/g}$ en ocho minutos. El principal carotenoide, luteína, (no provitamina A) disminuyó de 210 $\mu\text{g/g}$ a 92 $\mu\text{g/g}$ después de ocho minutos de calentamiento. El convolvulo de agua (Chen y Han 1990) y el crisantemo garland (Chen 1992) también se cocinaron en un horno microondas, a 100°C. El contenido de caroteno se redujo desde 62 a 52 $\mu\text{g/g}$ en el convolvulo de agua y el β -caroteno desde 16 a 7.3 $\mu\text{g/g}$ en el crisantemo garland después de 16 minutos. La cocción por microondas pareció retener mejor el caroteno y β -caroteno que la cocción convencional (hervir) en estos vegetales con hojas. Con el convolvulo de agua, la cocción a vapor (utilizando una olla a presión) demostró una retención intermedia de caroteno entre la cocción por microondas y la convencional. No se observó una diferencia en el contenido de caroteno entre la cocción por microondas (seis minutos) y la cocción convencional (12 a 20 minutos) en zanahoria, brócoli y espinaca, (Park 1987).

Una gran pérdida de caroteno (31%) se produjo en camote horneado (Chandler y Schwartz 1988). Los camotes envueltos en papel de aluminio, se colocaron en un horno convencional precalentado a 191°C y se hornearon durante 80 minutos hasta alcanzar una temperatura interna de 90°C. Las papas cocinadas en microondas mostraron una pérdida más pequeña (23%), lo cual podría explicarse por el tratamiento térmico más corto. Los camotes se colocaron en el microondas a potencia máxima (6000W) durante siete minutos hasta que se alcanzara una temperatura interna de 99°C.

Park evaluó el efecto de congelar y descongelar bajo condiciones caseras habituales sobre el contenido de caroteno de zanahoria, brócoli y espinaca (1987). No se perdió mucho caroteno en los vegetales congelados que se dejaron descongelar durante cuatro horas antes de la cocción. Sin embargo, la degradación del caroteno fue severa después de seis horas de descongelamiento. En los laboratorios analíticos, se recomienda que las muestras congeladas sean descongeladas en el refrigerador para minimizar la degradación enzimática de los carotenoides (Schiedt y Liaaen-Jensen 1995). Esto puede tener implicaciones a nivel casero.

Se estimó en 70 a 88% la retención de β -caroteno de aceite de palma crudo utilizado en cuatro recetas comunes de la India (Tabla 10) (Manorama y Rukmini 1991). El queque horneado a 220°C durante 45 minutos retuvo el 88% del β -caroteno original; esta inesperada y alta retención se explica por la mezcla completa del aceite de palma cruda con los otros ingredientes, evitando la exposición directa del β -caroteno al calor. La buena retención (77%) en el muruku frito en profundidad (un snack de garbanzo) se atribuyó a la corta exposición del aceite a una alta temperatura (180°C). El aceite demoró cinco minutos en alcanzar la temperatura y otros dos a tres minutos para que el muruku se friera. El suji halwa levemente frito (un dulce) y el upma (un alimento para el desayuno basado en semolina) demoraron 15 a 20 minutos en cocinarse. Barato y con buena aceptación por parte de los niños, se consideró que el suji halwa era un alimento ideal para la suplementación con vitamina A.

Sin embargo, se descubrió que el aceite de palma crudo era adecuado sólo para freirse una vez. Después de cuatro frituras en profundidad consecutivas, se perdió todo el β -caroteno en el aceite. En la primera fritura en profundidad parecía prevalecer la incorporación de los carotenoides en el material alimentario por sobre el deterioro térmico.

Muchas investigaciones han demostrado que los carotenoides, incluyendo a las provitaminas A, están más concentradas en la cáscara que en la pulpa de las frutas (Gross 1987; Rodríguez-Amaya 1993). Por lo tanto, sólo al pelar las frutas y vegetales se puede reducir considerablemente el contenido de provitamina A. En muestras pareadas de *C. pepo* y *C. moschata* inmaduras, las frutas enteras tuvieron contenidos de β -caroteno cinco veces mayores que las muestras peladas (1.5 comparados con 0.3 y 1.0 comparados con 0.2 $\mu\text{g/g}$, respectivamente) (Arima y Rodríguez-Amaya 1988). La cáscara del híbrido cucurbitacea Tetsukabuto contenía 101 $\mu\text{g/g}$ de β -caroteno mientras que la pulpa tuvo sólo 16 $\mu\text{g/g}$ de β -caroteno. Al pelar el fruto brasileño cajá (*Spondias lutea*), no sólo disminuyó el valor de la vitamina A sino que también se redujo considerablemente la cantidad de material comestible disponible (8 g/de fruta comparado con 2/g de fruta pelada) (Rodríguez-Amaya y Kimura 1989).

Tabla 10: Retención de β -caroteno de Aceite de Palma Crudo en Diferentes Alimentos Cocidos

Alimento	Receta ^a	Retención (%)	β -caroteno ($\mu\text{g}/100\text{g}$ de porción)
Queque	Horneado en horno (220°C), pasta de harina, huevos y azúcar	88	6.540
Muruku	Snack extruído frito en profundidad hecho a partir de harina de garbanzo y harina de arroz (2:1), a temperatura de freir 180 \pm 3°C	77	4.400
Suji halwa	Preparación dulce, frita levemente hecha con semolina; temperatura de cocción, 180 \pm 3°C	71	6.030
Upma	Alimento de desayuno común en el Sur de la India, hecho esencialmente con sémolina; temperatura de cocción 180 \pm 3°C	70	1.850

^a El aceite de palma crudo se utiliza como condimento con diferentes especias en Upma, como fuente de grasa para el queque y como medio para freir en muruku y suji hawa.

Fuente: Manorama y Rukmini (1991)

SECADO

Debido al carácter estacional de muchas frutas y vegetales, es necesario preservar la producción de granjas o de jardines de casas por medios al alcance de las personas. Esto prevendrá la pérdida durante la estación de la cosecha y extenderá el tiempo de utilización

del alimento, aumentando la posibilidad de abastecimiento anual. El secado al sol o simplemente colocando el alimento al sol es un método popular y tradicional de preservar frutas y vegetales en países de África y Asia. Puede ser el único medio para la preservación de alimentos en áreas donde existe escasez de agua. Sin embargo, puede ocurrir una pérdida excesiva de carotenoides.

Gomez (1981) investigó diferentes condiciones de secado y tratamiento en cuatro vegetales de hoja verde de Kenia (col, amaranto, caupí y cassava). Al secar las hojas a temperatura y humedad ambiente y la humedad se tardó cuatro a seis días en reducir el nivel de humedad a 6 a 8%. Se observó que este lento secado daba como resultado la retención más baja de carotenos (calculada como porcentaje del caroteno presente en controles de hojas frescas), presumiblemente debido a una continua actividad enzimática. Se probó un secador solar de diseño y construcción simples, parte del cual fue cubierto con una lámina de polietileno negro. El secado solar con protección dio una retención de caroteno significativamente más alta que el secado solar no protegido con exposición a la luz, excepto cuando se utilizó hojas de cassava. Se demostró que el escaldado con vapor como pretratamiento, aunque causó alguna pérdida inicial de caroteno a través de la degradación térmica, mejoró la retención en forma apreciable durante el secado y el almacenamiento posterior. Las diferencias entre el secado solar expuesto a luz y con protección fueron muy poco significativas en todos los vegetales estudiados cuando se realizó el escaldado con vapor. Este estudio también destacó las distintas características de diferentes vegetales. Las hojas de caupí y cassava demostraron una excelente retención de caroteno mientras que la col mostró una pobre retención. Esta diferencia se atribuye principalmente a la textura de la hoja, estabilidad a la marchitez y fotosensibilidad.

El secado al sol es el medio más barato y más accesible para preservar alimentos en los países en desarrollo, pero ocurren pérdidas considerables de provitaminas A. Secar con un secador solar y proteger al alimento de la luz solar directa minimiza la destrucción de las provitaminas. El escaldado con el objeto de inactivar las enzimas degradativas también reduce las pérdidas durante el secado y almacenamiento.

Hermana y Muhilal (1995) reportaron una diferencia en la retención de β -caroteno de seis diferentes vegetales de hoja deshidratados en un secador solar (uno y uno y medio a dos días de secado a 27 y 69°C) (Tabla 11). El amaranto tuvo la retención de β -caroteno más alta (99%) y el repollo chino la más baja (73%).

Rahman et al. (1995) evaluaron la retención de β -caroteno en dos vegetales con hojas durante el secado al horno y el secado al sol (Tabla 11). Se obtuvo una excelente retención (96 a 98%) con el secado al horno; sin embargo, este método no es factible de utilizar en las comunidades rurales donde los hornos no se encuentran fácilmente disponibles. La más grande reducción en el β -caroteno se observó en vegetales secados al sol en un contenedor sin tapa (retención entre 64 a 66%). Los vegetales con hojas secados al sol en un contenedor cubierto retuvieron 82 a 84% de su β -caroteno.

Tabla 11: Retención de β -caroteno Durante el Secado Casero

Referencia	Cálculo de la retención	Método de secado	Alimento	Retención de β -caroteno (%)
Hermana y Muhilal 1995	Retención calculada sobre la base del peso seco	Deshidratación con un secador solar a 27-69°C durante 1.5 a 2 días	Amaranto	99
			Hojas de cassava	98
			Repollo chino	73
			Hojas de papaya	80
			Hojas de Sauporus	79
			Repollo de pantano	83
Rahman et al. 1995	Retención calculada sobre la base del peso seco	Secado al horno a 60°C, 12 horas	Pat sak	96
			Lal sak	98
		Secado al sol, cubierto, todo el día	Pat sak	82
			Lal sak	84
		Secado al sol, no cubierto, todo el día	Pat sak	66
			Lal sak	64

El Proyecto de Apoyo en Terreno para la Vitamina A (VITAL) de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional, USAID, realizó actividades de secado solar en algunos países a nivel de comunidades donde se había optimizado tanto el secador solar como sus condiciones de operación (Linehan 1994). Se dispone de las instrucciones sobre la construcción del secador y el uso apropiado de esta técnica de secado (Linehan et al. 1993). En la Tabla 12 se muestra una comparación de la actividad de la vitamina A de los vegetales secados en secador solar y los secados al sol; en la mayoría de los casos, los valores de los vegetales secados en secador solar fueron mayores que los de los vegetales secados al sol. En forma interesante, el tradicional secado al sol parece ser bastante adecuado para las hojas de casava; tanto en este estudio como en una investigación previa de Gómez (1981), el secado solar no mostró una mejor retención de provitamina A en hojas de cassava. Se estimó que la retención de provitamina A en el secado solar estuvo entre 50 y 80% (no se muestran los datos).

Tabla 12: Comparación de la Actividad de Vitamina A de Alimentos Seleccionados Secados Directamente al Sol y en Secadores Solares.

Alimento	Secado en secador solar ER ^a /100 g	Secado al sol ER ^a /100 g
Zanahoria	6.850	5.690
Amaranto	2.170	1.690
Hojas de zapallo	2.900	1.250
Hojas de cassava	3.000	3.280
Hojas de camote	3.060	1.730

^a IER = 1 Equivalente de Retinol = 6 μ g de β -caroteno, 12 μ g de otras provitaminas A

Fuente: Linehan (1994)

EFECTO DEL PROCESAMIENTO INDUSTRIAL SOBRE EL CONTENIDO DE PROVITAMINA A DE LOS ALIMENTOS

A pesar de su susceptibilidad a la descomposición, se pueden retener los carotenoides durante el procesamiento industrial si se siguen buenas prácticas tecnológicas. Se recomienda el procesamiento a la temperatura más baja por el tiempo más breve, pero el procesamiento a alta temperatura y tiempo corto es una buena alternativa. El escaldado puede reducir el contenido de carotenoides en forma inicial pero prevendrá pérdidas posteriores y mayores durante el procesamiento (especialmente en el procesamiento lento) y almacenamiento. El pelado y la extracción de jugo pueden causar una mayor reducción de provitaminas A que el tratamiento térmico. Si se utiliza una materia prima rica en provitamina A es posible garantizar un producto final con un alto contenido de provitamina A incluso a pesar de algunas pérdidas que ocurren durante el procesamiento.

Debido a que el color es un factor decisivo en la preferencia de los consumidores por un alimento dado, la mantención del color fue durante un largo tiempo la principal preocupación del procesamiento industrial en relación a los carotenoides. Por lo tanto bastaba la medición del contenido total de carotenoides. Con el énfasis actual en el valor nutricional de los alimentos, incluyendo el contenido de vitamina A, determinar los niveles específicos de carotenoides provitaminas A se ha vuelto igual o más importante. Con el aumento del rol promotor de la salud de los carotenoides, existe más interés en el análisis de los carotenoides que no son provitaminas A. Como en las secciones anteriores, el enfoque de esta discusión es sobre los efectos del procesamiento a escala de planta piloto (que simula las condiciones industriales) o industrial sobre las provitaminas A.

El procesamiento térmico de la zanahoria (condiciones de autoclavado de 115.6°C por 30 minutos) aumentó sustancialmente las concentraciones de los isómeros *cis* del α -y β -caroteno mientras que los isómeros *trans* disminuyeron en un 26 y 35 por ciento respectivamente (Ogunlesi y Lee 1979) (Tabla 13). Debido a que los carotenos α -*cis* y β -*cis* tienen menores potencias en comparación con sus contrapartes *trans* (Tabla 3), hubo una disminución del 15 por ciento en el valor de vitamina A. Estos resultados ratificaron una advertencia anterior de Sweeney y Marsh (1971) que al procesar vegetales mediante cocción o enlatado convierte los carotenos *trans* en isómeros con una menor actividad de vitamina A. Se encontró que tal conversión disminuía los valores de vitamina A de los vegetales verdes en un 15 a 20 por ciento y aquellos de los vegetales amarillos en 30 a 35 por ciento.

Tabla 13: Retención de Provitaminas A en Planta Piloto o en el Procesamiento Industrial

Referencia	Condiciones de procesamiento	Producto alimentario	Carotenoides	Retención (%)
Ogunlesi y Lee 1979	Condiciones de autoclave de 115.6°C, 30 minutos	Zanahoria enlatada	α -caroteno-todos- <i>trans</i>	74
			β -caroteno-todos- <i>trans</i>	65
Chandler y Schwartz 1988	Tiras escaldadas a 100°C, dos minutos	Camote	β -caroteno-todos- <i>trans</i>	110
	Tiras escaldadas a 100°C, diez minutos		β -caroteno-todos- <i>trans</i>	93
	Puré preparado con triturador Fitzmill		β -caroteno-todos- <i>trans</i>	110
	1ra inyección de vapor, 81°C, 30 minutos		β -caroteno-todos- <i>trans</i>	110
	2da inyección de vapor, 100°C		β -caroteno-todos- <i>trans</i>	100
	Envasado en retorta sin movimiento, 116°C, 90 minutos		β -caroteno-todos- <i>trans</i>	77
	Secado en secador de doble tambor, 160°C, 25 rpm		β -caroteno-todos- <i>trans</i>	60
Godoy y Rodríguez-Amaya 1987	Después de llenado en caliente, las latas selladas se sumergieron en agua hirviendo, 20 minutos	Rodajas de mango enlatadas	β -caroteno	109
			α -criptoxantina	87
	Puré de mango calentado a 80°C 10 minutos en tetera con camisa de vapor. Después de llenado en caliente las latas selladas se sumergieron en agua hirviendo, 20 minutos	Puré de mango enlatado o embotellado	β -caroteno	87
			α -criptoxantina	62
Godoy y Rodríguez-Amaya 1991	Procesado como se describió para el puré de mango	Puré de mango enlatado o embotellado	β -caroteno	88
			γ -caroteno	100
			β -criptoxantina	74

Referencia	Condiciones de procesamiento	Producto alimentario	Carotenoides	Retención (%)
Valadon y Mummery 1981	Puré de naranjas peladas pasteurizadas a 99°C, 30 minutos	Puré de naranja enlatado (variedad española)	α-caroteno	22
			β-caroteno	100
			β-criptoxantina	104
		Puré de naranja enlatado (variedad turca)	α-caroteno	100
			β-caroteno	125
			β-criptoxantina	87
Arima et al. 1992	Calabaza escaldada 10 minutos, desintegrada, procesada térmicamente 40 minutos en una tetera con camisa de vapor con adición de sacarosa y glucosa, llenada en caliente. Las latas selladas se sumergieron en agua hirviendo 10 minutos	Zapallo Menina Verde endulzado enlatado	α-caroteno β-caroteno	79 65
Bao y Chang ^a	Sin escaldar: después de la extracción de jugo, se agregó sal y el jugo fue calentado a 82°C, 5 min.	Jugo de zanahoria	α-caroteno	57
			β-caroteno	59
	Escaldado (agua): zanahoria calentada 5 min. en agua hirviendo		α-caroteno	45
			β-caroteno	50
	Escaldado (AcOH): zanahoria calentada 5 min. en solución de ácido acético		α-caroteno	41
			β-caroteno	42
	Sin escaldar (agua) como descrito arriba y enlatado (115.6°C/25 min.)			α-caroteno
β-caroteno				53
Escaldado (agua) como descrito arriba y enlatado (115.6°C/25 min.)			α-caroteno	33
			β-caroteno	29
Escaldado (AcOH) como se describió anteriormente y enlatado (115.6°C/25 min.)			α-caroteno	33
			β-caroteno	32

Referencia	Condiciones de procesamiento	Producto alimentario	Carotenoides	Retención (%)
	Sin escaldar (agua) como descrito arriba y enlatado (121.1°C/10 min.)		α -caroteno β -caroteno	36 41
	Escaldado (agua) como descrito arriba y enlatado (121.1°C/10 min.)		α -caroteno β -caroteno	34 30
	Escaldado (AcOH) como descrito arriba y enlatado (121.1°C/10 min.)		α -caroteno β -caroteno	34 30
	Sin escaldar como descrito arriba y concentrado en un evaporador rotatorio a 40°C-50°C hasta un tercio del peso original		α -caroteno β -caroteno	57 49
	Escaldado (agua) como se describió anteriormente		α -caroteno β -caroteno	44 34
	Escaldado (AcOH) y concentrado como se describió arriba		α -caroteno β -caroteno	37 29
	Sin escaldar como se describió anteriormente y liofilizado hasta humedad menor del 10%		α -caroteno β -caroteno	56 46
	Escaldado (agua) y liofilizado como se describió anteriormente		α -caroteno β -caroteno	41 30
	Escaldado (AcOH) y liofilizado como se describió anteriormente		α -caroteno β -caroteno	36 26
Chen et al. 1995	Jugo acidificado a pH 4.0 con ácido cítrico y calentado a 105°C, 30 segundos con sistema de pasteurización de laboratorio	Jugo de zanahoria	α -caroteno-todos- <i>trans</i> β -caroteno-todos- <i>trans</i>	92 96

Referencia	Condiciones de procesamiento	Producto alimentario	Carotenoides	Retención (%)
	Jugo (pH 6.1) calentado a 110°C, 30 segundos, con sistema de pasteurización UHT/HTST ^c		α -caroteno-todos- <i>trans</i> β -caroteno-todos- <i>trans</i>	54 55
	Jugo (pH 6.1) calentado a 120°C, 30 segundos, con sistema de pasteurización UHT/HTST ^c		α -caroteno-todos- <i>trans</i> β -caroteno-todos- <i>trans</i>	46 52
	Jugo precalentado a 70°C antes de enlatar (en retorta fija a 121°C, 30 minutos)		α -caroteno-todos- <i>trans</i> β -caroteno-todos- <i>trans</i>	39 45
Padula y Rodríguez-Amaya 1987	Frutas escaldadas 5 minutos, desintegradas, reducidas a pulpa y calentadas a 87°C. Envases llenados en caliente y las latas selladas pasteurizadas en agua hirviendo 30 minutos	Jugo de guayaba	β -caroteno	100
Dietz y Gould 1986	Extracción de jugo (malla/tamiz de 0.23’’)	Jugo de tomate	β -caroteno	80
	Pasteurización a 121°C, 42 segundos		β -caroteno	79
	Enlatado (condiciones no especificadas)		β -caroteno	72
Howard et al. 1994	Pimientas escaldadas en agua 3 minutos a 100°C, envasadas y cubiertas con solución de salmuera. Las latas selladas procesadas a 100°C, 30 minutos	Jalapeño M enlatado		
		Verde	α -caroteno β -caroteno	73 64
		Rojo	α -caroteno β -caroteno	37 69
		Jalapeño suave TAM		
		Verde	α -caroteno β -caroteno	60 91

Referencia	Condiciones de procesamiento	Producto alimentario	Carotenoides	Retención (%)
		Rojo	α -caroteno	80
			β -caroteno	54
		TAM Veracruz		
		Verde	α -caroteno	50
			β -caroteno	98
		Rojo	α -caroteno	82
			β -caroteno	83
Ramos y Rodríguez-Amaya 1993	Secada con aire caliente a 65°C en una industria de alimentos	Espinaca deshidratada	β -caroteno	88
	Congelada a -30°C y liofilizada a -10°C en industria de alimentos	Espinaca liofilizada	β -caroteno	88
Ramos y Rodríguez-Amaya 1996 ^b	Secada con aire caliente a 70-80°C en una industria de alimentos	Zanahoria deshidratada	β -caroteno	104 ^b
	Congelada a -30°C y liofilizada a -10°C en industria de alimentos	Zanahoria liofilizada	β -caroteno	84
Nyambaka y Ryley 1996	Muestra congelada por turbina de aire a -30°C, 1 hora, luego secada en liofilizador de laboratorio (50 mm Hg)	Espinaca italiana	β -caroteno-todos- <i>trans</i>	67
	Muestra secada 6 a 8 horas en un secador solar	Espinaca italiana	β -caroteno-todos- <i>trans</i>	57
		Repollo de primavera	β -caroteno-todos- <i>trans</i>	59
		Hojas de caupí	β -caroteno-todos- <i>trans</i>	62

^a Retención calculada de acuerdo a la formula:

$$\% \text{ Retención} = \frac{\% \text{ Rendimiento (producto)} \times \% \text{ Sólido (producto)} \times \text{Contenido caroteno (producto)}}{\% \text{ Sólido (fresco)} \times \text{caroteno (fresco)}} \times 100$$

^b Retención calculada sobre la base del sólido insoluble

^c UHT/HTST; Temperatura ultra alta/Alta temperatura corto tiempo

Se encontró que arvejas y zanahoria enlatadas tenían mayores niveles de carotenoides que las muestras frescas (Edwards y Lee 1986). Esto no se debió a un aumento real en la cantidad de carotenoides. En la zanahoria enlatada, se debió principalmente a la solubilización de los sólidos solubles en la salmuera durante el procesamiento, lo cual aumentó la concentración de carotenoides por unidad de peso de alimento. La pérdida de sólidos solubles durante el procesamiento térmico de la zanahoria se estimó previamente en un 35% de los sólidos totales (Ogunlesi y Lee 1979). Por otra parte, el contenido comparativamente mayor de los carotenoides en las arvejas enlatadas se atribuyó a la degradación de los carotenoides por actividad enzimática en las arvejas frescas durante la etapa de extracción del análisis. Las arvejas frescas, molidas y dejadas estar durante dos horas antes de la extracción, mostraron un 68 por ciento de disminución en el contenido total de carotenoides.

Chandler y Schwartz (1988) monitorearon la isomerización y pérdida de β -caroteno *trans* durante el procesamiento del camote, sobre la base del peso seco (Tabla 13). Se observó un aumento significativo en el β -caroteno *trans* después de dos minutos de escaldado, de convertirlo en puré e inyectar vapor (81°C, 30 minutos) para gelatinizar el almidón. Los camotes escaldados durante 10 minutos tuvieron menos β -caroteno *trans* que los escaldados por dos minutos. El supuesto aumento se atribuyó a una extractibilidad aumentada de las muestras tratadas térmicamente. Una segunda inyección de vapor (100°C) para desactivar las enzimas, mantuvo el nivel inicial de β -caroteno *trans* del producto crudo. El enlatado (116°C, 90 minutos) redujo el nivel de β -caroteno *trans* en un 23 por ciento y la deshidratación (secado por tambor, 160°C, 25 rpm) lo redujo en un 40 por ciento. El procesamiento térmico indujo la formación de isómeros *cis* especialmente 13-*cis*- β -caroteno. Lee y Ammerman (1974) habían estudiado previamente la isomerización del β -caroteno del camote luego de enlatar en retortas fijas y con rotación. Las retortas con agitación por lo general requieren de un menor tiempo de procesamiento debido a la penetración más rápida del calor y al uso de temperaturas mayores de autoclavado. Las raíces de camote procesadas a 127°C (13 minutos) y 132°C (12.6 minutos) en una retorta con agitación y a 116°C (34 minutos) en una retorta sin agitación tuvieron un valor significativamente mayor de vitamina A que las procesadas a 121°C (23 minutos inmóvil o 19.25 minutos en agitación). Parecía que el menor tiempo a 127°C y 132°C y la temperatura menor 116°C eran favorables para la retención de β -caroteno *todos-trans*

Godoy y Rodríguez-Amaya (1987) encontraron que el β -caroteno se mantuvo durante el procesamiento de rodajas de mango Tommy Atkins (inmersión de latas llenas y selladas en agua hirviendo durante 20 minutos) (Tabla 13). En el puré de mango Golden, el β -caroteno disminuyó de 18 a 16 $\mu\text{g/g}$ (13 por ciento de pérdida). Comparado con el mango en rodajas, el puré de mango fue sometido a desintegración física y tratamiento de calor extra a 80°C durante 10 minutos, ambos de los cuales favorecen la destrucción de carotenoides. En ambos productos la α -criptoxantina disminuyó pero, considerando la muy pequeña cantidad presente, las pérdidas no fueron estadísticamente significativas. En el puré de papaya Solo, hubo alguna pérdida aunque no significativa de β -caroteno; el γ -caroteno se mantuvo; y la β -criptoxantina disminuyó de 7.4 a 5.5 $\mu\text{g/g}$ (26 por ciento de pérdida) (Godoy y Rodríguez-Amaya 1991) (Tabla 13). El enlatado del puré de naranjas peladas (variedades española y turca) (99°C durante 30 minutos) no redujo el nivel de β -caroteno, pero sí

disminuyó sustancialmente el nivel de α -caroteno en la variedad española (Valadon y Mummery 1981) (Tabla 13). La principal provitamina A, la β -criptoxantina se mantuvo en la variedad española pero disminuyó en un 13 por ciento en la variedad turca.

En el zapallo Menina Verde endulzado, enlatado, sometido a condiciones drásticas de procesamiento (10 minutos de escaldado, desintegración, procesamiento térmico en una tetera con camisa de vapor durante 40 minutos y la inmersión de envases llenos y sellados en agua hirviendo durante 10 minutos), el contenido de α -caroteno disminuyó un 21 por ciento y el contenido de β -caroteno en un 35 por ciento (Arima et al. 1992) (Tabla 13). Sin embargo, el producto todavía es una buena fuente de vitamina A debido a que se utilizó como materia prima, una variedad rica en provitamina A. De hecho, con la pérdida de humedad, el valor de vitamina A de la calabaza procesada fue mucho mayor que la de la calabaza cruda (580 equivalentes de retinol por 100 g de peso procesado en comparación con 360 equivalentes de retinol por 100 g de peso fresco). Los niños brasileños prefieren la calabaza endulzada a la calabaza hervida o salteada.

Bao y Chang (1994) (Tabla 13) investigaron el efecto del procesamiento sobre las concentraciones de α y β -caroteno en productos de jugo de zanahoria Imperador, utilizando su propia fórmula para calcular la retención. La pérdida fue considerable después de la extracción de jugo. Los productos de jugos a partir de zanahorias no escaldadas mostraron mayores niveles de α y β -caroteno que los de zanahorias escaldadas. El escaldado se realizó calentando zanahorias cortadas durante cinco minutos en agua hirviendo o en ácido acético hirviendo; esto se realizó antes de la extracción de jugo. Las zanahorias designadas como no escaldadas también se calentaron a 82°C durante 5 minutos, pero esto se hizo después de la extracción de jugo. El autoclavado, concentración y liofilizado del jugo redujo parcialmente los niveles de carotenos. En la mayoría de los casos, la reducción debido al procesamiento fue mayor para el β -caroteno que para el α -caroteno.

Chen et al. (1995) estudiaron el efecto de diversos métodos de procesamiento sobre el contenido de α y β -caroteno en el jugo de zanahoria. La más alta destrucción de los carotenos fue en retorta fija a 121°C durante 30 minutos, y la menor con la pasteurización a 105°C durante 25 segundos del jugo acidificado utilizando un sistema de laboratorio (Tabla 13). Las retenciones con el calentamiento a alta temperatura y tiempo corto a 120°C o 110°C durante 30 segundos estaban entre aquellas observadas en los dos procesos mencionados anteriormente. Chen et al. encontraron que el α -caroteno tendía a ser menos retenido que el β -caroteno.

En el jugo de guayaba pasteurizado se retuvo una pequeña cantidad de β -caroteno, aunque la inmersión del jugo embotellado en agua hirviendo se extendió a propósito durante 30 minutos, lo cual duplicó el tiempo habitual que se requiere para este tipo de producto (Padula y Rodríguez-Amaya 1987) (Tabla 13).

Dietz y Gould (1986) evaluaron la retención de β -caroteno en jugo de tomate fabricado a partir de 12 cultivares de tomates. Sólo se observó una pérdida significativa en la etapa de extracción de jugo (20 por ciento de pérdida); pérdidas leves ocurrieron en la pasteurización (1 por ciento) y enlatado (8 por ciento). Debido a que se observó una

diferencia de dos veces entre los cultivares con el mayor y menor contenido de β -caroteno, se consideró que la elección del cultivar era el factor más importante para obtener un jugo de tomate con la actividad más alta de vitamina A.

Lotha y Khurdiya (1994) compararon cinco métodos diferentes de extracción de jugo de la mandarina Kinnow –prensa hidráulica, exprimidor manual, uso de un extractor tipo tornillo, compresión sin cáscara y compresión con cáscara. El rendimiento del jugo estuvo en el rango de 36 a 48 por ciento. La compresión con o sin cáscara dio como resultado jugos con los mayores niveles de β -caroteno, pero el jugo obtenido con la compresión con cáscara no fue aceptable debido a su intensa amargura. El más bajo contenido de β -caroteno se encontró en el jugo obtenido mediante prensa hidráulica.

Liu y Luth (1977) verificaron la influencia de la etapa de madurez del tomate crudo en la composición de carotenoides de una pasta de tomates enlatada. Tomates con maduración rosada, roja media y roja completa fueron transformados en pastas con 26.5 por ciento de sólidos totales mediante el proceso de ruptura en caliente a 104.5°C durante 20 segundos, terminación (remoción de la piel y semillas), enfriamiento y evaporación al vacío. Las pastas de tomates, después de llenar y sellar las latas, se procesaron en caliente durante 30 minutos en agua hirviendo. El β -caroteno-*trans* tuvo su nivel máximo en las pastas obtenidas de tomates completamente maduros (14.8 $\mu\text{g/g}$) y el más bajo en pastas de tomates rosados (8.5 $\mu\text{g/g}$).

Por otra parte, en pimientos Jalapeño procesados, la influencia de la etapa de madurez no fue tan clara, con una retención de α -caroteno y β -caroteno aleatoriamente mayor o menor en pimientos procesados en la etapa verde o roja (Howard et al. 1994) (Tabla 13).

Baloch et al. (1977a) evaluaron la oxidación enzimática de carotenoides en zanahorias sin escaldar, la extracción incompleta de pigmentos de zanahorias crudas y la solubilización de sólidos solubles durante el procesamiento de zanahorias, con el objeto de encontrar posibles explicaciones para los aumentos aparentes en el contenido de carotenoides durante el procesamiento. Se encontró que la solubilización de los sólidos solubles era la causa principal de estos aumentos en zanahorias al calcular las retenciones en base seca. No se observó tal aumento cuando los resultados se calcularon sobre una base de sólido insoluble en agua.

Sian e Ishak (1991) examinaron los efectos de los tratamientos de escaldado y presecado sobre la estabilidad de los carotenoides en papaya y piña. Los carotenoides disminuyeron progresivamente en las dos frutas a medida que aumentaron el tiempo y temperatura del escaldado. Después de secar, la papaya y piña sin escaldar retuvieron el mayor contenido de carotenoides. La retención de pigmentos después de escaldar o secar fue menor en la piña que en la papaya. El dióxido de azufre impidió que los carotenoides se oxidaran. También los carotenoides tuvieron una mayor protección cuando se retuvo más humedad al agregar glicerol y azúcar.

Los niveles de caroteno de zanahoria, brócoli y espinaca secadas al vacío (16 horas a 55°C, 15 pulgadas de Hg), fueron significativamente mayores que al secar estos vegetales por

microondas (alta temperatura, 750 watts). Sin embargo, Park concluyó que la deshidratación, sin importar el método de secado, reducía significativamente el contenido de caroteno de estos vegetales. Por el contrario, en la deshidratación industrial (secado con aire caliente a 65°C) y liofilización (congelamiento a -30°C) y liofilización a -10°C de espinaca inmersa previamente en soluciones de sal y bicarbonato, sólo ocurrió un 12 por ciento de pérdida de β -caroteno (Ramos y Rodríguez-Amaya 1993). No se observó pérdida de β -caroteno en la deshidratación industrial (secado con aire caliente a 70-80°C) de zanahorias escaldadas en vapor, pero la liofilización causó un 16 por ciento de disminución (Ramos y Rodríguez-Amaya 1996). Estas pérdidas son pequeñas, considerando el drástico tratamiento involucrado en la deshidratación y la mayor exposición al oxígeno. El cálculo de las pérdidas se realizó sobre la base del peso seco para la espinaca y sobre una base de sólidos insolubles en agua para la zanahoria, debido a que la alta solubilización de sólidos solubles en la zanahoria dio como resultado más de un 100% de retención de β -caroteno cuando se utilizó el peso seco.

En un reciente estudio sobre la separación por HPLC en fase reversa de los isómeros geométricos del α - y β -caroteno en vegetales de hoja verde oscura, se retuvo el 67 por ciento de β -caroteno *todos trans* después de liofilizar espinaca italiana y 57 a 62 por ciento después de secar al sol espinaca italiana, repollo primavera y hojas de caupí (Nyambaka y Ryley 1996) (Tabla 13). Sin embargo, las concentraciones de β -caroteno del repollo primavera y hojas de caupí liofilizados fueron tan altas que no se presentaron las retenciones.

El caroteno se retuvo completamente durante la deshidratación casera de la pimienta verde (Desrosiers et al. 1985). En el durazno, se retuvo el 73 por ciento del caroteno después del tratamiento de presecado (escaldado, pelado y bañado en ácido ascórbico). El nivel retenido cayó a 37 por ciento después de la deshidratación. La alta retención del caroteno en la pimienta verde se atribuyó a la presencia de antioxidantes naturales.

En una serie de publicaciones, Mínguez-Mosquera et al. informaron sobre la influencia del procesamiento industrial de paprika sobre la composición de carotenoides. Las etapas de secado y molienda no afectaron a todos los pigmentos por igual (Mínguez-Mosquera et al. 1993). Los pigmentos amarillos, particularmente el β -caroteno, fueron los de mayor inestabilidad; los pigmentos rojos fueron altamente estables. Al secar la pimienta variedad Bola a 35°C, ocurrió un período de biosíntesis de carotenoides que incluían al β -caroteno y β -criptoxantina, después de la cosecha (Mínguez-Mosquera 1994a), lo cual fue altamente favorecido por la luz. En las etapas finales del secado, la luz tuvo un fuerte efecto degradativo. Se sugirió que con el fin de obtener pimientos secos para paprika con un aumento de un 20 a 40 por ciento en la concentración de carotenoides, el proceso de secado debería consistir de una primera fase de iluminación y una segunda fase de oscuridad. Se compararon dos procesos de secado industrial: secado lento mediante combustión de madera y secado rápido utilizando aire caliente (Mínguez-Mosquera et al. 1994b). La concentración de algunos pigmentos aumentó en las pimientos Bola con la combustión de madera, la cual se interpretó como un reflejo de la biosíntesis. Durante el secado rápido, las pérdidas degradativas fueron evidentes.

Los carotenoides en dos variedades de pimienta, Bola y Agridulce, se comportaron en forma diferente durante el secado (Mínguez-Mosquera y Hornero-Méndez 1994b). Capsantina, el principal carotenoide, aumentó en la variedad Bola y disminuyó en la variedad Agridulce. Por el contrario, la β -criptoxantina disminuyó en la variedad Bola pero aumentó en la pimienta Agridulce. El nivel de β -caroteno se redujo en ambas variedades. Todos los carotenoides cuantificados disminuyeron durante la molienda. La pérdida combinada de β -criptoxantina debido al secado y molienda fue 79 por ciento en la variedad Bola y 65 por ciento en la pimienta Agridulce. Las pérdidas respectivas para el β -caroteno fueron 82 y 67 por ciento. Se descubrió que la variedad Agridulce era más adecuada para la producción de paprika, dando un producto final con un color más intenso y un mayor contenido de provitamina A.

Durante el secado industrial lento (30 a 35°C) de la variedad Agridulce, se distinguieron tres fases (Mínguez-Mosquera et al. 1994c). En la primera etapa, hubo una disminución del contenido de pigmentos de las frutas. La segunda fase mostró un aumento en la concentración de carotenoides, aunque sin compensar la pérdida previa. En la tercera etapa, prevaleció la degradación. El β -caroteno y la β -criptoxantina mostraron este patrón con iluminación y en oscuridad.

Mientras otros carotenoides sufrieron transformaciones, el β -caroteno y la luteína en las olivas resistieron la fermentación y el proceso de curado (210 o 89 días) (Mínguez-Mosquera et al. 1989; Mínguez-Mosquera y Gandul-Rojas 1994). En la mostaza, el β -caroteno y la luteína se redujeron a un tercio de sus contenidos originales después de 50 días de curado (Fan et al. 1993).

El método tradicional de producción de aceite de palma retuvo más β -caroteno (80 por ciento) que el proceso mecanizado (23 por ciento) (Jideani 1992). La explicación fue que las palmas procesadas por el método tradicional no fueron expuestas a temperaturas muy elevadas durante el procesamiento. Cuando el aceite de palma se calentó a 160 - 200°C, la tasa de destrucción del β -caroteno se duplicó por cada aumento de 20°C de temperatura.

ESTABILIDAD DE LAS PROVITAMINAS A DURANTE EL ALMACENAMIENTO DE ALIMENTOS PROCESADOS

La retención de las provitaminas A durante el almacenamiento de los alimentos procesados se ve favorecida por una baja temperatura de almacenamiento, protección de la luz, exclusión de oxígeno – mediante vacío o llenado en caliente, empaque con atmósfera modificada o impermeable al oxígeno – y la presencia de antioxidantes naturales o agregados. En general, el tratamiento con sal y sulfito también aumenta la retención. Las provitaminas A en productos enlatados o embotellados por lo general son bien retenidas al menos un año. Los carotenoides en productos deshidratados tienen una mayor probabilidad de sufrir degradación durante el almacenamiento debido a que la mayor área superficial y porosidad aumentan su exposición al oxígeno y a la luz. Los productos escaldados por lo general resisten mejor la descomposición de carotenoides durante el almacenamiento que los alimentos sin escaldar.

Recientemente se revisó la susceptibilidad o resistencia de los carotenoides a la degradación durante el almacenamiento de alimentos (Rodríguez-Amaya 1993b), discutiendo en detalle los efectos de factores tales como estructura de los carotenoides, naturaleza de la matriz, oxígeno disponible, contenido de humedad/actividad de agua, luz, temperatura, antioxidantes, pro-oxidantes, ácidos grasos, sulfitos y cloruro de sodio en sistemas modelo y en alimentos. En esta sección, se discutirán solamente los cambios en los carotenoides provitaminas A durante el almacenamiento.

La retención de provitaminas A en frutas y vegetales enlatados o embotellados es por lo general buena por aproximadamente un año y posteriormente, pueden ocurrir pérdidas importantes (Tabla 14). Durante el décimo mes de almacenamiento a temperatura ambiente y bajo simulación de condiciones de supermercados, en términos de exposición a la luz, el contenido de β -caroteno en el jugo de guayaba embotellado permaneció prácticamente inalterable (Padula y Rodríguez-Amaya 1987). El almacenamiento al ambiente de rodajas de mango en tarros lacados (epoxi) o con placa de estaño no provocó un cambio significativo en el nivel de β -caroteno durante 10 meses (Godoy y Rodríguez-Amaya 1987). Sin embargo, el contenido de β -caroteno disminuyó aproximadamente en 50 por ciento después de 14 meses y 84 por ciento después de 24 meses sin importar el tipo de lata usado. Esta provitamina A tuvo una mayor tendencia a la degradación en puré de mango embotellado (18 por ciento de pérdida al cabo de 10 meses) que en puré de mango enlatado. Al igual que en el caso de las rodajas de mango, sin embargo, el puré enlatado y embotellado sufrieron una pérdida aproximada de 50 por ciento de β -caroteno después de 14 meses, alcanzando un 83 por ciento después de 24 meses. En el puré de papaya embotellado, la pequeña cantidad de β -caroteno cayó levemente, pero no

significativamente, después de 14 meses de almacenamiento (Godoy y Rodríguez-Amaya 1991). Durante los primeros 10 meses, la β -criptoxantina no cambió significativamente pero disminuyó 27 por ciento después de 14 meses de almacenamiento.

En el puré elaborado a partir de naranja de variedad española, las concentraciones de α -caroteno, β -caroteno y β -criptoxantina (principal provitamina) disminuyeron 50, 44 y 38 por ciento después de 27 meses a 10°C y 50, 11 y 30 por ciento durante el mismo período a 21°C (Valadon y Mummery 1981). En el puré de naranja variedad turca, los niveles de β -caroteno y β -criptoxantina se redujeron en un 60 por ciento a 10°C y 80 y 79 por ciento respectivamente a 21°C después de 27 meses. El jugo de tomate enlatado perdió un 12 por ciento de su β -caroteno después de siete meses en almacenamiento ambiente (Dietz y Gould 1986).

Tabla 14: Retención de Carotenoides Provitamina A Durante el Almacenamiento de Alimentos Procesados

Referencia	Condición de almacenamiento	Producto Alimentario	Carotenoide	Retención (%)
Padula y Rodríguez-Amaya 1987	Temperatura ambiente, 10 meses	Jugo de guayaba embotellado	β -caroteno	93
Godoy y Rodríguez-Amaya 1987	Temperatura ambiente, 14 meses	Rodajas de mango en conserva (lacado epoxi)	β -caroteno	52
		Rodajas de mango en conserva (capa de estaño)	β -caroteno	46
		Puré de mango en conserva (lacado epoxi)	β -caroteno	51
		Puré de mango embotellado	β -caroteno	48
Godoy y Rodríguez-Amaya 1991	Temperatura ambiente, 14 meses	Puré de papaya en botella	β -caroteno	88
			β -criptoxantina	73
Valadon y Mummery 1981	10°C, 27 meses	Puré de naranja enlatado (variedad Española)	α -caroteno	50
			β -caroteno	56
			β -criptoxantina	62
	21°C, 27 meses		α -caroteno	50
			β -caroteno	89
			β -criptoxantina	70
10°C, 27 meses	Puré de naranja enlatado (variedad Turca)	β -caroteno	40	
		β -criptoxantina	40	
21°C, 27 meses		β -caroteno	20	
		β -criptoxantina	21	
Dietz y Gould 1986	Temperatura ambiente, 7 meses	Jugo de tomate enlatado	β -caroteno	88

Referencia	Condición de almacenamiento	Producto Alimentario	Carotenoide	Retención (%)	
Kon y Shimba 1989	0°C, 3 meses	Calabaza escaldada liofilizada	β-caroteno	91	
			α-criptoxantina	25	
	30°C, 3 meses		β-caroteno	47	
			α-criptoxantina	0	
Gee 1979	Almacenado en aire, 6 meses	Tomate no escaldado seco	β-caroteno	45	
		Zanahoria no escaldada seca	β-caroteno	24	
		Espinaca no escaldada seca	β-caroteno	85	
	Almacenado en bolsas selladas, 5 meses con aire	Tomate no escaldado seco	β-caroteno	41	
		Zanahoria no escaldada seca	β-caroteno	22	
		Espinaca no escaldada seca	β-caroteno	67	
	con CO ₂	Tomate no escaldado seco	β-caroteno	58	
		Zanahoria no escaldada seca	β-caroteno	89	
		Espinaca no escaldada seca	β-caroteno	93	
	con vacío	Tomate no escaldado seco	β-caroteno	77	
		Zanahoria no escaldada seca	β-caroteno	78	
		Espinaca no escaldada seca	β-caroteno	90	
con N ₂	Tomate no escaldado seco	β-caroteno	77		
	Zanahoria no escaldada seca	β-caroteno	92		
Urbanyi y Horti 1989	Almacenado a -20°C, durante 174-176 días	Tomate Jubileum congelado rápidamente de:	1er grado de madurez	α-caroteno	57
				β-caroteno	41
				γ-caroteno	38
			2do grado de madurez	α-caroteno	51
				β-caroteno	36
				γ-caroteno	42
			3er grado de madurez	α-caroteno	43
				β-caroteno	30
				γ-caroteno	49
		Almacenado a -20°C, durante 370-371 días	Tomate congelado rápido: Kecske-méti 407	α-caroteno	101
				β-caroteno	104
				γ-caroteno	78
Kecske-méti Jubileum	α-caroteno			79	
	β-caroteno			61	
	γ-caroteno			36	
Kecske-méti 555 (K3)	α-caroteno	104			
	β-caroteno	111			
	γ-caroteno	75			

Referencia	Condición de almacenamiento	Producto Alimentario	Carotenoide	Retención (%)
Wu et al. 1992	Congelado a -20°C , 16 semanas	Porotos verdes sin escaldar	β -caroteno	93
		Brócoli sin escaldar	β -caroteno	93
Cavalcante y Rodríguez-Amaya 1995	Congelado a -18°C , 90 días	Pulpa de pitanga sin escaldar (<i>Eugenia uniflora</i>)	β -caroteno	34
			β -criptoxantina	62
			γ -caroteno	31
Reddy et al. 1995	Temperatura ambiente, 60 días	Gogu en salmuera, pickle	β -caroteno	9
		Zanahoria en salmuera,	β -caroteno	26
		Pickle		

Pesek y Warthesen (1987) estudiaron la fotodegradación de carotenoides en jugo de vegetales que contenían principalmente jugo de tomate y zanahoria, los cuales habían sido expuestos a 230 ft-c de luz a 4°C . El estudio consideró el uso de envases permeables a la luz y situaciones adicionales de exposición a la luz durante el almacenamiento de estos productos. Después de cuatro días de exposición a la luz, sólo se retuvo un 25 por ciento del α y β -caroteno inicial, mientras que el 75 por ciento del licopeno todavía estaba presente. Se pensó que las diferencias estructurales eran responsables de la diferencia en las tasas de degradación. La pérdida de caroteno fue amplia después de ocho días. Las muestras control (mantenidas en oscuridad) tuvieron destrucción mínima o nula de carotenoides.

Sudhakar y Maini (1994) investigaron los efectos de diversos componentes, aditivos y condiciones diferentes de almacenamiento en la estabilidad de los carotenoides en pulpa de mango tratada con sulfito. Las pulpas de mango fueron envasadas en: vidrio, cloruro de polivinilo y botellas de alta densidad; bolsas de polietileno y polipropileno. El almacenamiento fue a temperatura baja ($2^{\circ}\text{C}\pm 1$), ambiente (14.5 a 33.9°C), alta ($40^{\circ}\text{C}\pm 1$) o en una cámara fría (10.6 a 27.5°C). Los carotenoides fueron más estables en los niveles más altos de dióxido de azufre. El ácido ascórbico y antioxidantes también ayudaron a proteger a los carotenoides de la degradación. La retención de carotenoides fue mayor en la pulpa empacada en envases de vidrio con la menor área superficial expuesta al aire y almacenada a bajas temperaturas. Los carotenoides tuvieron una mejor retención en las pulpas de mango Neelum, seguidos por las variedades Totapuri y Chausa. Sin embargo, las variedades Desherari y Rataul tuvieron mayores contenidos totales de caroteno al final del período de almacenamiento de cuatro meses debido a sus mayores niveles iniciales de caroteno.

Entre las diversas formas de alimentos procesados, los productos secos o deshidratados se consideran con más posibilidades de sufrir degradación de carotenoides durante el almacenamiento debido al aumento en el área superficial y porosidad, esta última se asocia con los alimentos liofilizados. La zanahoria seca ha sido la más estudiada.

Se reportó que el escaldado antes del secado convencional con aire caliente aumentaba la estabilidad de los carotenoides durante el almacenamiento. En zanahoria sin escaldar deshidratada, envasada en bolsas trilaminadas de papel-aluminio-polietileno y almacenadas

a temperatura ambiente (16 a 35°C), permaneció sólo el 8.7 por ciento del contenido inicial de carotenoides después de ocho meses (Arya et al. 1992). En zanahoria escaldada en agua hervida durante seis minutos antes de secar, permaneció el 21 por ciento de los carotenoides. En otro estudio (Baloch et al. 1987) donde las zanahorias secas fueron envasadas al vacío en latas con lámina de estaño y mantenidas a 37°C, se retuvo sólo un 33 por ciento de los carotenoides originales en la zanahoria sin escaldar, después de 440 días de almacenamiento. Durante el mismo período de almacenamiento, se mantuvo el 48 por ciento de los carotenoides en zanahoria deshidratada escaldada durante cinco minutos. El efecto beneficioso del escaldado sobre la estabilidad de los carotenoides durante el almacenamiento, se atribuye por lo general a la inactivación de las enzimas (peroxidasa y lipoxidasa) que catalizan la destrucción de carotenoides.

Por otra parte, se había observado con anterioridad que en zanahorias liofilizadas escaldadas ocurrían pérdidas más altas de carotenoides que en zanahorias liofilizadas sin escaldar (Arya et al. 1979). También se mencionó que la solubilización aumentada de sólidos solubles durante las etapas de predeshidratación, aumentaba la degradación de carotenoides durante la deshidratación y almacenamiento de zanahorias (Baloch et al. 1977a). En ambos estudios se sugirió que se solubilizaban algunas sustancias capaces de estabilizar los carotenoides.

El congelamiento antes del secado con aire caliente mejoró considerablemente la estabilidad de los carotenoides en zanahoria deshidratada (Arya et al. 1982). Después de tres meses de almacenamiento al ambiente aproximadamente el 90 por ciento de los carotenoides iniciales fueron retenidos en zanahoria deshidratada precongelada, en comparación con el 20 por ciento en zanahoria no escaldada y el 40 por ciento en zanahoria seca escaldada.

Se consideró que el método más efectivo para aumentar la vida útil de almacenamiento de la zanahoria deshidratada era una combinación de sulfito y escaldado a un nivel suficiente para desactivar la actividad enzimática (Baloch et al. 1987). Sin embargo, sería altamente deseable optimizar el proceso de escaldado para obtener un beneficio máximo del tratamiento con dióxido de azufre. Se descubrió que el sulfito tenía un marcado efecto positivo en la estabilidad de los carotenoides en las zanahorias no escaldadas y escaldadas durante la deshidratación y almacenamiento a 37°C. La efectividad del dióxido de sulfuro se redujo al aumentar el tiempo de escaldado en más de un minuto sobre el período en el cual la zanahoria era adecuadamente escaldada. También se demostró que el metabisulfito de sodio reducía la destrucción de carotenoides (Arya et al. 1982).

Se encontró que tratando con sal (remojo por 30 minutos a 20°C en una solución de cloruro de sodio al 10%) y escaldando la solución salina (2.25 minutos a 96°C) antes del secado con aire, mejoraba significativamente la estabilidad de los carotenoides de la zanahoria (Speck et al. 1977). Esto concordaba con el hallazgo de Arya et al. (1979) que al remojar zanahoria escaldada en una solución salina al 5% antes del secado reducía significativamente la degradación de carotenoides. El uso de antioxidantes también impedía la destrucción de carotenoides.

Los carotenoides de zanahoria deshidratada parecieron ser más estables a una actividad de agua (a_w) de 0.43 (Arya et al. 1979). Tanto bajo como sobre este nivel, la tasa de destrucción de carotenoides aumentó significativamente; este aumento fue mayor a a_w más bajas que a a_w más altas. En la papaya liofilizada, los carotenoides fueron más estables a a_w 0.33 y, como en la zanahoria, la tasa de destrucción fue mayor tanto debajo como sobre esta a_w óptima (Arya et al. 1983). Sin embargo, contrario a lo que se observó en la zanahoria, hubo un mayor aumento en la destrucción de carotenoides a mayor a_w que a menor a_w . También se demostró la dependencia de la retención de carotenoides de la temperatura de almacenamiento. Después de 36 semanas de almacenamiento se retuvo aproximadamente el 80 por ciento de carotenoides totales en papaya a 0°C comparado con el 22 y 12 por ciento a temperatura ambiente y 37°C respectivamente.

El contenido de carotenoides de pimienta deshidratada en la casa disminuyó lentamente en forma lineal, alcanzando un 14 por ciento luego de un período de almacenamiento de seis meses (Desrosiers et al. 1985). En el durazno deshidratado, el nivel de caroteno se redujo significativamente (44%) durante los primeros dos meses pero se estabilizó posteriormente. La exposición a la luz durante el período de seis meses de almacenamiento tuvo un efecto adverso en la retención de carotenoides en la pimienta verde pero no en el durazno.

La pérdida de β -caroteno durante el almacenamiento a 30°C de calabaza liofilizada alcanzó a 15, 20 y 53 por ciento después de un, dos y tres meses respectivamente (Kon y Shimba 1989) (Tabla 14). Sin embargo, la pérdida de β -caroteno a 0°C fue de sólo 9 por ciento después de tres meses. La pequeña cantidad de α -criptoxantina se redujo en un 75 por ciento a 0°C y desapareció a 30°C.

Zanahoria, espinaca y tomate secados, sin escaldar o sin tratamiento químico, con a_w de 0.3 a 0.5 se almacenaron en aire, vacío, nitrógeno o dióxido de carbono a temperatura ambiente en oscuridad (Gee 1979) (Tabla 14). La estabilidad de β -caroteno mejoró cuando se le protegió del oxígeno. Para el tomate, el nitrógeno y el almacenamiento al vacío fueron más protectores que el almacenamiento con dióxido de carbono; la pérdida de β -caroteno se redujo de 59 por ciento en aire a 42 por ciento en dióxido de carbono y 23 por ciento en nitrógeno y bajo vacío después de cinco meses. Para la zanahoria y espinaca, la protección fue mejor en las tres condiciones que excluyeron el oxígeno.

Rao (1992) evaluó la estabilidad de los carotenoides en huevo en polvo secado por spray, a partir de espuma y liofilizado, envasado en latas, bolsas laminadas de papel-aluminio-poliétileno con aire o nitrógeno, y bolsas de polietileno de alta densidad, durante el almacenamiento a 4°, 19 a 27°, 37° y 42° y 55° C hasta 365 días. Las muestras envasadas en aire y envasadas con polietileno mostraron las mayores pérdidas. La retención de carotenoides fue mejor a temperaturas más bajas.

Se almacenaron cubos de tomate congelados rápidamente (-30°C) que provenían del mismo cultivar y en tres etapas de madurez, en bolsas de polietileno a -20°C durante 174 a 176 días (Urbányi y Horti 1989) (Tabla 14). El contenido de α -caroteno, β -caroteno y también γ -caroteno – el cual fue inusualmente alto en los tomates utilizados – disminuyó en todos en forma progresiva y considerable, sin importar el estado de madurez de los tomates crudos.

Los niveles de estas tres provitaminas A fluctuaron durante todo el período de almacenamiento en los cubos de tomate congelados preparados a partir de tres cultivares y todos en la etapa de maduración completa, aunque el nivel del γ -caroteno mostró una tendencia más definida a disminuir.

El contenido de β -caroteno de porotos verdes y brócoli cambió muy poco durante el almacenamiento congelado a -20°C durante 16 semanas (Wu et al. 1992) (Tabla 14). No hubo aparentemente diferencias significativas en la concentración de β -caroteno entre los vegetales crudos y no escaldados.

Por otra parte, pérdidas considerables de carotenoides (66 por ciento para β -caroteno, 38 por ciento para β -criptoxantina y 67 por ciento para γ -caroteno) ocurrieron en la pulpa de pitanga sin escaldar almacenada durante 90 días a -18°C (Cavalcante y Rodríguez-Amaya 1995) (Tabla 14), indicando oxidación enzimática. Las frutas de bocaiúva almacenadas intactas a -20°C durante cinco meses no mostraron ninguna reducción en la actividad de la vitamina A (Hiani y Penteado 1989b).

La pulpa escaldada y sin escaldar de tres variedades comerciales de mango fue envasada en bolsas de polietileno, polipropileno y bolsas laminadas de papel-aluminio-polietileno, congelada y almacenada a -12°C (Thakur y Arya 1988). La pérdida en el carotenoide total fue considerablemente mayor en la pulpa de mango no escaldada que en la escaldada. Después de 12 meses de almacenamiento, la retención de carotenoides en muestras no escaldadas fue de 68 a 87 por ciento en bolsas laminadas, 28 a 57 por ciento en polipropileno y 18 a 46 por ciento en polietileno comparadas con 80 a 95 por ciento, 57 a 82 por ciento y 51 a 72 por ciento respectivamente en las muestras escaldadas. La bolsa laminada proporcionó la mejor protección para los carotenoides entre los tres materiales de envase analizados.

El encurtido -preparación de pickles- es una práctica común de almacenamiento de alimentos en la India. El gogu (hibiscus), el cual es una fuente rica de caroteno, se utiliza comúnmente para preparar pickles; también son comunes los pickles de zanahoria. Sin embargo, el contenido de caroteno de ambos tipos de pickles disminuyó fuerte y sustancialmente durante el almacenamiento (Reddy et al. 1995). Los pickles de gogu retuvieron sólo un 9 por ciento y los de zanahoria un 26 por ciento del nivel original de β -caroteno después de 60 días de almacenamiento.

Se han realizado diversas investigaciones de la estabilidad de los carotenoides en paprika. Se encontró que la temperatura de secado y el tipo de secador utilizado tienen un efecto en la estabilidad de los carotenoides durante el almacenamiento del polvo de pimienta roja (Malchev et al. 1989). La degradación de los carotenoides ocurrió a una mayor tasa en las muestras secadas a una temperatura más elevada. Bajo condiciones iguales de temperatura, los carotenoides en la pimienta secada en un secador spray se degradaron más rápidamente que en la pimienta secada en un secador con aire. La destrucción de carotenoides en la pimienta roja también se vio afectada por la actividad del agua, la atmósfera del envase, temperatura del almacenamiento y tratamiento de la pimienta (Lee et al. 1992). El uso de nitrógeno o una alta actividad de agua mejoró la retención de carotenoides. Para mantener

una buena calidad del color, se sugirió que la pimienta roja se mantuviera en forma de polvo grueso con semillas a a_w bajo 0.3 y en una atmósfera de nitrógeno. Al reducir el volumen de espacio libre del envase y al disminuir la temperatura de almacenamiento también se favoreció la retención de carotenoides.

Al comparar la paprika molida con o sin semillas, no se observó ninguna diferencia en la pérdida de carotenoide total después de cinco meses de almacenamiento (Okos et al. 1990). Al final de los siguientes siete meses, la paprika que contenía semillas tuvo una menor pérdida que el pimentón sin semillas. Entre los diferentes cultivares de paprika, las semillas del F-03 (picante) mostraron el nivel más alto del antioxidante tocoferol y el polvo de este cultivar mostró la menor degradación de carotenoides durante el almacenamiento (Biacs et al. 1992). La adición de tocoferol y ácido ascórbico al producto molido redujo la pérdida de color durante el almacenamiento, siendo ácido ascórbico el más efectivo.

EFECTO DEL PROCESAMIENTO/COCCION SOBRE LA BIODISPONIBILIDAD DE LA PROVITAMINA A

Al día de hoy, la información insuficiente y de algún modo contradictoria no permite una evaluación del efecto del procesamiento y almacenamiento sobre la biodisponibilidad de las provitaminas A en los alimentos. Se requiere de una investigación urgente, concertada e intensa sobre esta materia tan importante pero pobremente investigada.

Tener datos sobre el contenido de provitamina A no es obviamente suficiente. Es necesario conocer su biodisponibilidad: la proporción de un nutriente ingerido que se vuelve disponible en el cuerpo para procesos metabólicos. Sin embargo, es muy difícil evaluar la cantidad de provitamina A de un alimento que es realmente absorbida por el cuerpo humano y convertida en retinol. A pesar de muchos intentos a través de los años, la información actual sobre este tema es escasa, fragmentada y a menudo contradictoria. La complejidad y naturaleza distinta de la matriz en la que las provitaminas A están embebidas en los alimentos, la bien conocida variación en la respuesta individual en humanos, los varios factores que influyen en la absorción y bioconversión y la carencia de indicadores adecuados de biodisponibilidad en seres humanos, han contribuido a la dificultad en establecer la biodisponibilidad de la provitamina A en los alimentos.

Es especialmente importante proseguir la investigación de la biodisponibilidad de β -caroteno en vegetales de hoja verde oscura debido a que son las fuentes más disponibles y accesibles de provitamina A en el mundo, con contenidos de β -caroteno mucho más altos en estos vegetales que en la mayoría de las frutas y vegetales sin hojas.

Se encontró que los vegetales de hoja verde oscura (Pereira y Begum 1968; Lala y Reddy 1970; Devadas et al. 1978; Jayaraban et al. 1980; Devadas et al. 1980; Charoenkiatul et al. 1985; Hussein and El-Tohamy 1989), zanahoria rallada (Roels et al. 1958; Hussein y El-Tohamy 1989), papaya (Devadas et al. 1980), aceite de palma (Roels et al. 1963; Lian et al. 1976; Rukmini 1994) y combinaciones de camote y vegetales de hoja verde oscura (Jalal 1991), amaranto, proteína de hoja y β -caroteno (Devadas y Murphy 1978), zanahoria, papaya y chutney de cilantro-menta (Wadhwa et al. 1994), aumentan la concentración de retinol sérico en niños de regiones con alta prevalencia de deficiencia de vitamina A. Un dulce de un fruto de la palma, buriti, también mostró que mejoraba el estado de la vitamina A de los niños (Mariath et al. 1989). Con la excepción de un estudio (Jalal 1991), Pee y West (1996) señalaron uno o más puntos débiles en los diseños experimentales de los estudios mencionados anteriormente como por ejemplo, la falta de grupos de control negativo y/o positivo, una alta tasa de deserción, gran variación en la respuesta dentro del grupo en tratamiento y un número pequeño de sujetos. Por otra parte, dos estudios recientes

no encontraron un mejoramiento en el estado de la vitamina A de niños con suficiente vitamina A (Bulux et al. 1994) y de nodrizas (de Pee et al. 1995), a quienes se les dio zanahoria cocida y vegetales de hoja verde oscura fritos con agitación respectivamente.

Sólo dos estudios en seres humanos (Van Zeben 1946; Hussein y El-Tomahy 1990) comparan la biodisponibilidad del mismo alimento en la forma cruda y procesada. Es razonable sospechar que la cocción o procesamiento puede aumentar la biodisponibilidad de los carotenoides activos de vitamina A. Como se mencionó previamente, los carotenoides en la naturaleza pueden estar ser complejados con proteínas, unidos a otros componentes o protegidos físicamente en alguna otra forma. Aunque este sistema físico protector previene la degradación de carotenoides, puede limitar su biodisponibilidad cuando se ingiere el alimento en forma cruda. La cocción desnaturaliza la proteína y suaviza las paredes celulares. La mayor facilidad con que los carotenoides en alimentos tratados térmicamente pueden ser extraídos durante el análisis puede implicar que también son más disponibles biológicamente. Por otra parte, las provitaminas A en los alimentos salteados pueden sufrir pérdidas durante la cocción, pero pueden tener una mayor biodisponibilidad debido a la presencia de aceite, el cual se sabe que aumenta la absorción de provitaminas A. Por lo tanto, la elección de las condiciones de procesamiento para los alimentos debería ser una compromiso entre aumentar la biodisponibilidad y mantener en un nivel mínimo las pérdidas por degradación.

Sin embargo, los pocos estudios que tienen algún soporte en esta materia no apoyan la suposición antes mencionada. Un estudio previo afirmaba que la absorción de caroteno de zanahoria cocida era considerablemente menor que la de zanahoria rallada (Van Zeben 1946). Zanahoria rallada a 30, 50 o 75 g/día y jugo de zanahoria a 30 a 45 ml/día no alteró la concentración sérica de retinol en niños (Hussein y El-Tomahy 1990). Se observó un aumento en el nivel de retinol cuando la zanahoria rallada se administró a 150 g/día. Hussein y El-Tomahy (1989) y Roels et al. (1958) reportaron un aumento de la concentración de retinol sérico cuando se utilizó zanahoria rallada cruda como suplemento. Los estudios que no encontraron ningún efecto en la concentración de retinol sérico involucraban a la zanahoria cocida (Bulux et al. 1994) y a vegetales con hojas fritos con agitación (de Pee et al. 1995).

En el Centro de Desarrollo e Investigación Vegetal de Asia (AVRDC) en Taiwan, se han obtenido algunos resultados interesantes en estudios con ratas. La biodisponibilidad del β -caroteno en el camote crudo fue mayor que la del camote frito, la cual a su vez fue aproximadamente dos veces mayor que en el camote cocido u horneado según Tsou y Yang (comunicación personal). La biodisponibilidad de β -caroteno en hojas de camote cocidas pareció ser mayor que en las hojas crudas, mientras que la biodisponibilidad del β -caroteno de la zanahoria cruda y cocida es similar. Previamente, se encontró que vegetales ricos en clorofilas y carotenoides no provitamina A tenían una menor biodisponibilidad de provitamina A (AVRDC 1986). El argumento que la clorofila y los otros carotenoides tienen efectos inhibitorios fue corroborado en experimentos con pigmentos purificados. También se mencionó un posible efecto inhibitorio de la fibra. Los resultados de estudios con pollos también sugirieron que varios tipos de fibra dietética reducen la biodisponibilidad del β -caroteno (Erdman et al. 1986).

En estudios en ratas, se observó que la provitamina A en palma de durazno hervida era mucho más biodisponible que la provitamina A en el mango (Yuyama et al. 1991). Debido a que se utilizaron diferentes frutas, no es posible asegurar si la diferencia se debió a la cocción, al mayor contenido de contenido de grasa de la palma de durazno o a otros factores, y los experimentos en animales de laboratorio tendrán que confirmarse en estudios en seres humanos.

Un estudio con voluntarias no fumadoras mostró que las concentraciones plasmáticas de β -caroteno disminuyeron al agregar pectina a la comida (Rock y Sevendseid 1992). Se ha sugerido que el efecto inhibitorio de la pectina puede explicar la reducida respuesta de β -caroteno plasmático después de ingerir alimentos ricos en carotenoides en comparación con una dosis equivalente de suplemento sintético de β -caroteno. Claramente, se requiere de mucho más trabajo en este tema importante pero pobremente investigado.

CONSIDERACIONES FINALES Y RECOMENDACIONES PARA LOS ENCARGADOS DE PROGRAMAS

A pesar de las deficiencias experimentales y de presentación encontradas en muchas publicaciones y de algunas discrepancias en los resultados, se pueden extraer algunas conclusiones:

1. Los vegetales de hoja verde oscura, aceite de palma, fruta de palma, zanahoria, camote naranja, calabazas y zapallos maduros y algunas frutas tropicales de color naranja o amarillo, parecen ser las fuentes más promisorias en términos de contenido de provitamina A.
2. El contenido de provitamina A varía considerablemente de un alimento a otro. También existen variaciones significativas entre muestras del mismo alimento debido a factores tales como etapa de madurez, diferencias de cultivares o varietales, efectos climáticos o geográficos, parte utilizada de la planta, manejo post-cosecha y almacenamiento.
3. El clima tropical de muchas áreas pobres del mundo estimula la biosíntesis de carotenoides, aumentando sus concentraciones durante la maduración de las frutas y vegetales. Por otra parte, esta misma condición ambiental puede acelerar la destrucción de los carotenoides durante el manejo postcosecha y almacenamiento.
4. La biosíntesis de los carotenoides puede continuar en las frutas, vegetales frutales y cultivos de raíces incluso después de la cosecha, siempre que estas plantas se mantengan intactas y no sean tratadas en ninguna forma que pudiera desactivar las enzimas responsables de la carotenogénesis. En hojas y otros vegetales, parece prevalecer la degradación post-cosecha de los carotenoides, especialmente a una alta temperatura de almacenamiento y bajo condiciones que favorecen la marchitez.
5. Los carotenoides están protegidos en forma natural en los tejidos de las plantas; al cortar las frutas y vegetales en pedazos pequeños o al macerar aumenta la exposición al oxígeno y pone en contacto los carotenoides con las enzimas que catalizan la oxidación de los carotenoides.
6. La estabilidad de los carotenoides difiere en los distintos alimentos incluso cuando se utilizan las mismas condiciones de procesamiento y almacenamiento. Los carotenoides *per se* tienen diferente susceptibilidad a la degradación. Por ejemplo, aunque los resultados son de algún modo contradictorios, el α -caroteno parece ser menos estable que el β -caroteno. Las condiciones óptimas para la retención de provitaminas A durante la preparación/procesamiento difieren de un alimento a otro.

7. La principal causa de destrucción de los carotenoides durante el procesamiento y almacenamiento de alimentos es la oxidación enzimática o no enzimática. La isomerización de las provitaminas A *trans* a isómeros *cis*, especialmente durante el tratamiento con calor, también disminuye el valor de la vitamina A en los alimentos pero no en la misma medida que la oxidación. En muchos alimentos la degradación enzimática de los carotenoides puede ser un problema más serio que la descomposición térmica.
8. Es probable que los aumentos reportados en el contenido de carotenoides durante el procesamiento térmico no sean aumentos verdaderos sino consecuencia del proceso analítico como por ejemplo, pérdida de carotenoides en muestras frescas debido a la actividad enzimática, mayor extractibilidad de los carotenoides a partir de muestras procesadas y pérdida no contabilizada de agua y solubilización de sólidos solubles.
9. En general, la retención de provitaminas A disminuye en el siguiente orden: el microondas es menos dañino que el vapor, el vapor es menos dañino que la ebullición y la ebullición es menos dañina que el salteado. La fritura en profundidad, la cocción prolongada, la combinación de diversos métodos de preparación y procesamiento, el horneado y encurtido (con la posible excepción de los pickles de aceitunas) dan como resultado pérdidas importantes de provitaminas A. Cualquiera sea el método de procesamiento elegido, la retención de provitaminas A disminuye con un tiempo prolongado de procesamiento, con temperaturas de procesamiento más altas y por cortes o maceración del alimento. Modificaciones simples tales como cocer con la tapa puesta; reducir el intervalo entre el pelar/cortar y la cocción/procesamiento; un menor tiempo de cocción/procesamiento y almacenamiento durante tiempo mínimo, mejoran la retención en forma significativa.
10. El tratamiento con calor en el escaldado puede provocar algunas pérdidas de las provitaminas A pero la inactivación de las enzimas oxidativas impedirá pérdidas posteriores y mayores durante el procesamiento lento (como en el secado) y el almacenamiento.
11. El congelamiento (especialmente el congelamiento rápido) y el almacenamiento congelado por lo general preservan las provitaminas pero el descongelamiento por un tiempo prolongado es dañino.
12. Pelar y extraer jugo da como resultado pérdidas importantes de provitaminas A las que a menudo sobrepasan a aquellas del tratamiento por calor.
13. El tradicional secado al sol, aunque es el medio más barato y accesible de preservación de alimentos en regiones pobres, causa una destrucción considerable de provitamina A. El secado en un secador solar, incluso de diseño simple y barato, puede reducir en forma apreciable las pérdidas. Proteger el alimento de la luz solar directa también tiene un efecto positivo.
14. Antioxidantes naturales o agregados, tratamiento con sal y sulfito pueden reducir la degradación de carotenoides durante el almacenamiento de alimentos procesados.

15. La exclusión de oxígeno, como por ejemplo a través del vacío o llenado en caliente, envases impermeables al oxígeno, o atmósfera inerte; protección de la luz; y almacenamiento a temperaturas bajas protegen a los carotenoides de la descomposición.
16. Existe información insuficiente para evaluar el efecto de la preparación casera/industrial y procesamiento sobre la biodisponibilidad de las provitaminas A.

En los programas diseñados para promover la producción y consumo de alimentos ricos en provitamina A, incluyendo la educación en nutrición, los encargados de planificar y ejecutar deben abogar que el consumidor tenga en cuenta las siguientes recomendaciones:

1. Identificar las fuentes ricas y aceptables de provitaminas A localmente disponibles o potencialmente disponibles. En países donde no hay datos suficientes o disponibles sobre provitamina A, los datos de otros países pueden servir como guía. Sin embargo, debe obtenerse información relevante a nivel local. El color del alimento puede servir como el primer indicio –hojas verde oscuras, camote color naranja oscuro, calabaza, zapallos o frutas– para encontrar importantes fuentes locales.
2. Procesar cultivares de alimentos ricos en provitamina A en un nivel óptimo de madurez porque es la etapa en la cual el alimento es apropiado para el procesamiento y contiene un alto nivel de provitaminas A.
3. Evitar pelar los alimentos cuando la cáscara es comestible y su presencia no afectará en forma adversa la aceptabilidad del alimento, como por ejemplo, un aumento del sabor amargo. También se deben minimizar las pérdidas durante la extracción de jugo.
4. Consumir o procesar térmicamente los alimentos inmediatamente después de cortarlos o macerarlos. Por otra parte, debería considerarse el escaldado para inactivar las enzimas.
5. Abogar por medidas simples tales como cocer exactamente a punto, cocer con la tapa puesta, agregar tomate, lavar antes de pelar y cortar, evitar macerar o cortar en pedazos muy pequeños, mantener el alimento en forma intacta durante el almacenamiento y almacenar por tiempo mínimo. Para minimizar los problemas con la aceptabilidad de los alimentos, se debe ensayar primero modificar las prácticas tradicionales de cocción.
6. Establecer, optimizar y adaptar las condiciones para escaldar, procesar y almacenar un alimento dado. Para ahorrar tiempo y recursos, se debe buscar información sobre las condiciones ya ensayadas para dicho alimento.
7. Minimizar el tiempo y temperatura de procesamiento. Procesar con alta temperatura y tiempo corto es una buena alternativa.
8. Utilizar el secado solar en el que el alimento es protegido de la luz solar directa, en vez del tradicional secado al sol. Esto parece ser un medio promisorio, factible y barato de preservar los alimentos en los países en desarrollo. Se debería ensayar escaldar antes del secado solar aunque puede que no sea práctico en áreas donde existe escasez de agua.

NECESIDADES DE INVESTIGACION

Es evidente que se necesita abordar en forma urgente diversas áreas de investigación. Se requiere más y mejores datos sobre el contenido de provitamina A de los alimentos. Es esencial que las diferencias en los resultados reflejen variaciones de composición verdaderas y naturales y no errores analíticos. El mejor medio para evaluar y mejorar el rendimiento del laboratorio y de los métodos de ensayo es a través de estudios colaborativos interlaboratorios, especialmente cuando se trata de un análisis complicado. Esto puede realizarse en dos formas:

- Se pueden distribuir las mismas muestras homogéneas a diferentes laboratorios para ser analizadas por métodos escogidos por los respectivos laboratorios. Este tipo de estudio mostrará cuan bien los laboratorios están realizando los análisis y cuales métodos tienen posibilidades de producir resultados exactos.
- Las muestras se pueden analizar por los diferentes laboratorios utilizando un método seleccionado. Los resultados demostrarán el rendimiento del método escogido en un marco interlaboratorio.

Las guías y procedimientos para un muestreo y submuestreo adecuados son prerequisites para la obtención de datos confiables y deberían ser establecidos por un comité internacional competente. Los laboratorios con experiencia en análisis de carotenoides pueden servir como centros de entrenamiento y coordinadores de ensayos de aptitud de laboratorios y de validación de métodos. Debido a que la deficiencia de vitamina A es un problema en áreas pobres del mundo, se debe considerar -aparte de la exactitud y precisión- la sustentabilidad al escoger el o los métodos a recomendar.

Los estudios de retención también tendrán que continuar para clarificar los resultados contradictorios; ensayar otras condiciones de procesamiento/almacenamiento y otros alimentos; y evaluar otros medios de mejorar la retención. Debido a las discrepancias en los resultados obtenidos y al diferente comportamiento de los carotenoides en diferentes alimentos, se requiere de más investigación antes de hacer recomendaciones definitivas acerca de las condiciones óptimas de procesamiento y almacenamiento para alimentos específicos. Esto debería realizarse utilizando métodos analíticos confiables que separen y cuantifiquen individualmente las diferentes provitaminas A, muestras pareadas, condiciones de procesamiento/almacenamiento bien definidas y descritas y cálculos que representen verdaderamente la retención o pérdida. Los resultados deberían someterse a análisis estadístico. Los métodos modernos de preparación casera tales como cocción en microondas o al vapor; de procesamiento industrial como por ejemplo congelamiento rápido, liofilización y procesamiento a alta temperatura/corto tiempo (HTST); y condiciones de almacenamiento tales como refrigeración y empaque en atmósfera modificada, como se practica en los países desarrollados, conducen a una retención excelente de provitaminas A. Sin embargo, son impracticables en muchas áreas donde la deficiencia de vitamina A es un problema de salud pública. Por ejemplo, el secado solar

puede ser el único medio actualmente factible de preservación de alimentos en algunos países. Un enlatado simple bajo buenas prácticas tecnológicas, puede ser una opción en algunas regiones. En cualquier caso, se debe continuar con la búsqueda de técnicas solventables y factibles de preservación de alimentos con una máxima retención de provitaminas A.

Existe una escasez de información sobre el efecto de la preparación y el procesamiento sobre la biodisponibilidad de provitaminas A, y este aspecto requiere de una investigación urgente, concertada e intensa. Dadas las variaciones de composición ampliamente demostradas en esta revisión, el buen diseño experimental que se necesita para este tipo de trabajo debe incluir una determinación exacta del contenido de provitamina A del alimento que se está analizando, en vez de usar datos obtenidos de análisis previos o valores tomados de tablas de composición de alimentos. Más aún, debe existir algún medio de compensar una posible y significativa variación día a día, o certificar la reproducibilidad de la composición del alimento a través de todo el período experimental. Si se sobreestima la concentración de provitamina A del alimento, la biodisponibilidad en consecuencia se subestimarán y viceversa. En los dos estudios (en ambos se consideró que tenían fuertes diseños experimentales) donde los vegetales mostraron ser ineficaces en mejorar el estado de la vitamina A, se dio una limitada descripción de los suplementos vegetales y su manejo en contraste con detalles en otras partes de estos estudios. Es relativamente fácil determinar y mantener el contenido de provitamina A de una cápsula o de un simple alimento fortificado a través de un experimento; no se puede decir lo mismo de frutas y vegetales.

REFERENCIAS

- Abdel-Kader, Z. M. 1991. Determination of carotenoids in foods by high-performance liquid chromatography. *Nahrung*. 35: 689-693.
- Adewsusi, S. R. A. and J. H. Bradbury. 1993. Carotenoids in cassava: Comparison of open-column and HPLC methods of analysis. *J. Sci. Food. Agric.* 62:375-383.
- Aina, J. O. 1990. Physico-chemical changes in African mango (*Irvingia gabonensis*) during normal storage ripening. *Food Chem.* 36:205-212.
- Almeida, L. B. and M. V. C. Penteado. 1987. Carotenóides com atividade pró-vitáminica A de cenouras (*Daucus carola* L.) comercializadas em São Paulo, Brasil. *Rev. Farm. Bioquim. Univ. S. Paulo.* 23:133-141.
- 1988. Carotenoids and pro-vitamin A value of white fleshed Brazilian sweet potatoes (*Ipomoea batatas* Lam.). *J. Food Comp. Anal.* 1:341-352.
- Almeida-Muradian, L. B. and M. V. C. Penteado. 1992. Carotenoids and provitamin A value of some Brazilian sweet potato cultivars (*Ipomoea batatas* Lam.). *Rev. Farm. Bioquim. Univ. S. Paulo* 28: 145-154.
- Apriyantano, A. and H. Y. T. Yumono. 1995. Effect of cooking methods on carotenoid composition of some Indonesian plant foods. Paper presented at the 9th World Congress of Food Science and Technology, Budapest.
- Arima, H. K. and D. B. Rodriguez-Amaya. 1988. Carotenoid composition and vitamin A value of commercial Brazilian squashes and pumpkins. *J. Micronutr. Anal.* 4: 177-191.
- . 1990. Carotenoid composition and vitamin A value of a squash and a pumpkin from Northeastern Brasil. *Arch. Latinoamer. Nutr.* 40:284-292.
- Arima, H. K., D. B. Rodriguez-Amaya and A. L. A. C. Nirida. 1992. Efeito do processamento em escala piloto e do preparo doméstico nos carotenóides de abóbora. Paper presented at XIII Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, São Paulo. Brazil. 1992.
- Arumugam, C., A. Sunderasan. K. V. S. Prasad, A. D. Damodaran. and K. V. K. Nampoorthi. 1989. Studies on the extraction and evaluation of raw palm oil for edible use. *J. Food Sci. Technol.* 26:277-282 .
- Arya, S. S., V. Natesan, D. B. Parihar and P. K. Vijayaraghavan. 1979. Stability of carotenoids in dehydrated carrots. *J. Food Technol.* 14:579-586.

Arya, S. S., V. Natesan, K. S. Premavalli and P. K. Vijayaraghavan. 1982. Effect of pre-freezing on the stability of carotenoids in unblanched air-dried carrots. *J. Food Technol.* 17:109-113.

Arya, S. S., V. Natesan and P. K. Vijayaraghavan. 1983. Stability of carotenoids in freeze dried papaya (*Carica papaya*). *J. Food Technol.* 18: 177-181.

AVRDC (Asian Vegetable Research and Development Center). 1986. Bioavailability of provitamin A in vegetables and fruits. Taiwan: AVRDC Progress Report. 310-313.

Baloch, A. K., K. A. Buckle and R. A. Edwards. 1977a. Effect of processing variables on the quality of dehydrated carrot. I. Leaching losses and carotenoid content. *J. Food Technol.* 12:285-293.

———. 1977b. Effect of processing variables on the quality of dehydrated carrot. II. Leaching losses and stability of carrot during dehydration and storage. *J. Food Technol.* 12:295-307.

———. 1987. Effect of sulphur dioxide and blanching on the stability of carotenoids of dehydrated carrot. *J. Sci. Food Agric.* 40:179-187

Bao, B. and K. C. Chang. 1994. Carrot juice color, carotenoids, and nonstarchy polysaccharides as affected by processing conditions. *J. Food Sci.* 59:1155-1158.

Bauernfeind, J. C. 1972. Carotenoid vitamin A precursors and analogs in foods and feeds. *J. Agric. Food Chem.* 20:456-473.

Begum, A. and S. M. Pereira. 1977. The beta carotene content of Indian edible green leaves. *Trop. Geogr. Med.* 29:47-50.

Bendich, A. 1990. "Carotenoids and the immune system". In *Carotenoids: Chemistry and Biology*. Eds. N. I. Krinsky, M. M. Mathews-Roth and R. F. Taylor. New York: Plenum Press. 323-335.

———. 1994. Recent advances in clinical research involving carotenoids. *Pure Appl. Chem.* 66:1017-1024.

Bendich, A. and J. A. Olson. 1989. Biological actions of carotenoids. *FASEB J.* 3:197-1932.

Bhaskarachary K., D. S. Sankar Rao, Y. G. Deosthale and V. Reddy. 1995. Carotene content of some common and less familiar foods of plant origin. *Food Chem.* 54:189-193.

Bhaskarachary, K., D. S. Sankar Rao, Y. G. Deosthale M. Rani and V. Reddy. 1996. Provitamin A carotenoid content of common foods. Paper presented at the XVII IVACG Meeting, Guatemala.

Bhushan, B. and P. Thomas. 1990. Effects of γ irradiation and storage temperature on lipoxygenase activity and carotenoid disappearance in potato tubers (*Solanum tuberosum* L.). *J. Agric. Food Chem.* 38:1586-1590.

Biacs, P. A., B. Czinkotai and A. Hoschke. 1992. Factors affecting stability of colored substances in paprika powders. *J. Agric. Food Chem.* 40:363-367.

Brubacher, G., W. Muller-Mulot and D. A. T. Southgate. 1985. *Methods for the Determination of Vitamins in Food*. London: Elsevier Applied Science Publishers, 33-50.

Bulux, J., J. Q. Serrano, A. Giuliano, R. Perez, C. Y. Lopez., C. Rivera, N. W. Solomons and L. M. Canfield. 1994. Plasma response of children to short-term chronic β -carotene supplementation. *Am. J. Clin. Nutr.* 59:1369-1375.

Bureau, J. L. and R. J. Bushway. 1986. HPLC determination of carotenoids in fruits and vegetables in the United States. *J. Food Sci.* 51: 128-130.

Burton, G. W. 1989. Antioxidant action of carotenoids. *J. Nutr.* 119: 109-111.

Bushway, R. J. 1986. Determination of α - and β -carotene in some raw fruits and vegetables by high-performance liquid chromatography. *J. Agric. Food Chem.* 34:409-412.

Bushway, R. J. and A. M. Wilson. 1982. Determination of α - and β -carotene in fruits and vegetables by high-performance liquid chromatography. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.* 15:165-169.

Bushway, R. J., A. Yang and A. M. Yamani. 1986. Comparison of alpha- and beta-carotene content of supermarket versus roadside stand produce. *J. Food Qual.* 9:437-443.

Byers, T. and G. Perry. 1992. Dietary carotenes, vitamin C, and vitamin E as protective antioxidants in human cancers. *Ann.Rev. Nutr.* 12: 139-159.

Carvalho, P. R. N., C. H. Collins and D. B. Rodriguez-Amaya. 1992. Comparison of provitamin A determination by normal-phase gravity-flow column chromatography and reversed-phase high performance liquid chromatography. *Chromatographia.* 33:133-137.

Cavalcante, M. L. and D. B. Rodriguez-Amaya 1992. "Carotenoid composition of the tropical fruits *Eugenia uniflora* and *Malpighia glabra*." In *Food Science and Human Nutrition*. Ed. by G. Charalambous. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 643-650.

—. 1995. Alteration of the carotenoid composition during manufacture and storage of frozen *Eugenia uniflora* fruit. Paper presented at the 9th World Congress of Food Science and Technology, Budapest.

Chandler, L. A. and S. J. Schwartz. 1988. Isomerization and losses of *trans*- β -carotene in sweet potatoes as affected by processing treatments. *J. Agric. Food Chem.* 36:129-133.

- Charoenkiatkul, S., A. Valsaseri and K. Tontisirin. 1985. Dietary approaches to the prevention of vitamin A deficiency. *Food. Nutr. Bull.* 7:72-76.
- Chen, B. H. 1992. Studies on the stability of carotenoids in garland chrysanthemum (*Ipomoea* spp.) as affected by microwave and conventional heating. *J. Food Prot.* 55:296-300.
- Chen, B. H. and Y. Y. Chen. 1993. Stability of chlorophylls and carotenoids in sweet potato leaves during microwave cooking. *J. Agric. Food Chem.* 41: 1315-1320.
- Chen, B. H., J. R. Chuang, J. H. Lin and C. P. Chiu. 1993. Quantification of provitamin A compounds in Chinese vegetables by high-performance liquid chromatography. *J. Food Prot.* 56:51-54.
- Chen, B. H. and L. H. Han. 1990. Effects of different cooking methods on the yield of carotenoids in water convolvulus (*Ipomoea aquatica*) *J. Food Prot.* 53: 1076-1078.
- Chen, B. H., H. Y. Peng and H. E. Chen. 1995. Changes of carotenoids, color, and vitamin A contents during processing of carrot juice. *J. Agric. Food Chem.* 43: 1912- 1918.
- Choo, Y. M. 1994. Palm oil carotenoids. *Food Nutr. Bull.* 15:130-137.
- Craft, N. E., L. C. Sander and H. F. Pierson. 1990. Separation and relative distribution of all-*trans*- β -carotene and its *cis* isomers in β -carotene preparations. *J. Micronutr. Anal.* 8:209-221.
- Davies, B. H. 1976. – "Carotenoids." In *Chemistry and Biochemistry of Plant Pigments*. Ed. by T. W. Goodwin. 2nd ed., vol. 2, London: Academic Press, 38-165.
- de Pee, S. and C. E. West. 1996. Dietary carotenoids and their role in combating vitamin A deficiency: Review of the literature. *Eur. J. Clin. Nutr.* 50: (in press).
- de Pee, S., C. E. West, Muhilal, D. Karyadi and J. G. A. J. Hautvast. 1995. Lack of improvement in vitamin A status with increased consumption of dark-green leafy vegetables. *Lancet.* 346:75-81.
- de Pee, S., C. E. West, Muhilal and J. G. A. J. Hautvast. 1996. Carotene-rich fruits and vegetables: Their capacity to improve vitamin A status of children in West Java. Paper presented at the XVII IVACG Meeting, Guatemala.
- Deli, J., Z Matus and J. Szabolcs. 1992. Carotenoid composition in the fruits of black paprika (*Capsicum annuum* variety *longum nigrum* during ripening. *J. Agric. Food Chem.* 40:2072-2076
- Desrosiers, T., T. G. Smyrl and G Paquette. 1985. Retention of carotene in green peppers and peaches after a home dehydration process. *Can. Inst. Food Sci. Technol. J.* 18:144-149.

Deutsch, M. J. 1990. Vitamins and other nutrients." In *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*. Ed. by K. Helrich. 15th ed., vol. 2. Arlington, VA: Association of Official Analytical Chemists, 1045-1114.

Devadas, R. P. and N. K. Murthy. 1978. Biological utilization of β -carotene from amaranth and leaf protein in preschool children. *World Rev. Nutr. Diet.* 31:159-161.

Devadas, R. P., S. Premakumari and G. Subramanian. 1978. Biological availability of β -carotene from fresh and dried green leafy vegetables on preschool children. *Ind. J. Nutr. Diet.* 15:335-340.

Devadas, R. P., S. Saraja and N. K. Murthy. 1980. Availability of β -carotene from papaya fruit and amaranth in preschool children. *Ind. J. Nutr. Diet.* 17:41-44.

Di Mascio, P., S. Kaiser and H. Sies. 1989. Lycopene as the most efficient biological carotenoid singlet oxygen quencher. *Arch. Biochem. Biophys.* 274:532-538.

Dietz, J. M. and W.A. Gould. 1986. Effect of process stage and storage on retention of beta-carotene in tomato juice. *J. Food Sci.* 51:847-848.

Dietz, J. M., S. S. Kantha and J. W. Erdman, Jr. 1988. Reversed phase HPLC analysis of α - and β -carotene from selected raw and cooked vegetables. *Plant Foods Human Nutr.* 38:333-341.

Edwards, C. G. and C. Y. Lee. 1986. Measurement of provitamin A carotenoids in fresh and canned carrots and peas. *J. Food Sci.* 51:534-535.

El-Tinay, A. H. and C. O. Chichester. 1970. Oxidation of β -carotene. Site of initial attack. *J. Org Chem.* 35:2290-2293.

Erdman, J. W., G. C. Fahey and C. B. White. 1986. Effects of purified dietary fiber sources on betacarotene utilization by the chick. *J. Nutr.* 116:2415-2423.

Ezell, B. D. and M. S. Wilcox. 1962. Loss of carotene in fresh vegetables as related to wilting and temperature. *J. Agric. Food Chem.* 10:124-126.

Falconer, M. E., M. J. Fishwick D. G. Land and E. R. Sayer. 1964. Carotene oxidation and off-flavor development in dehydrated carrot. *J. Sci. Food Agric.* 15:897-901.

Fan, J. J., H. C. Lee and G.-C. Yen. 1993. "Quantification and identification of carotenoids and chlorophylls in raw and pickled mustard," (in Chinese). *J. Chinese Agric. Chem. Soc.* 31:765-775.

Farin, D., R. Ikan and J. Gross. 1983. The carotenoid pigments in the juice and flavedo of a mandarin hybrid (*Citrus reticulata* cv). Michal during ripening. *Phytochem.* 22:403-408.

- Foote, C. S., Y. C. Chang and R. W. Denny. 1970. Chemistry of singlet oxygen. X. Carotenoid quenching parallels biological protection. *J. Am. Chem. Soc.* 92:5216-5218.
- Gee, M. 1979. Stability of ascorbic acid, thiamine and β -carotene in some low temperature dried vegetables. *Lebensm. Wiss. Technol.* 12:147-149.
- Gerster, H. 1991. Potential role of beta-carotene in the prevention of cardiovascular disease. *Int. J. Vit. Nutr. Res.* 61:277-291.
- Giami, S. Y. and D. A. Alu. 1994. Changes in composition and certain functional properties of ripening plantain (*Musa spp.*, AAB group) pulp. *Food Chem.* 50:137-140.
- Godoy, H. T. and D. B. Rodriguez-Amaya 1987. Changes in individual carotenoids on processing and storage of mango (*Mangifera indica*) slices and pureé. *Int. J. Food Sci. Technol.* 22:451-460.
- . 1989. Carotenoid composition of commercial mangoes from Brazil. *Lebens Wissen. Technol.* 22:100-103.
- . 1991. Comportamento dos carotenóides de purê de mamão (*Carica papaya*) sob processamento e estocagem. *Cienc. Tecnol. Aliment.* 11:210-220.
- . 1993. Avaliação das metodologías para determinação de pró-vitamina A. *Rev. Farm. Bioquim. USP.* 29:17-24.
- . 1994. Occurrence of *cis*-isomers of provitamin A in Brazilian fruits. *J. Agric. Food. Chem.* 42:1306-1313.
- . 1995. Buriti (*Mauritia vinifera* Mart), uma fonte riquíssima de pró-vitamina A. *Arq. Biol. Tec.* 31:109-120.
- . 1996. Occurrence of *cis*-isomers of provitamin A in Brazilian vegetables. Submitted to *J. Sci. Food Agric.*
- Gomez, M.I. 1981. Carotene content of some green leafy vegetables of Kenya and effects of dehydration and storage on carotene retention. *J. Plant Foods.* 3:231-244.
- Granado, F., B. Olmedilla, I. Blanco and E. Rojas-Hidalgo. 1992. Carotenoid composition in raw and cooked Spanish vegetables. *J. Agric. Food Chem.* 40:2135-2140.
- Gross, J. 1981. Pigment changes in the flavedo of Dancy tangerine (*Citrus reticulata*) during ripening. *Z. Pflanzenphysiol.* 103:451-457.
- . 1982a. Changes of chlorophylls and carotenoids in developing strawberry fruits (*Fragaria anonassa*) cv. Tenira. *Gartenbauwiss.* 47:142-144.

- . 1982b. Pigment changes in the pericarp of the Chinese gooseberry or kiwi fruit (*Actinidia chinensis* cv. Bruno) during ripening. *Gartenbauwiss.* 47:162-167.
- . 1982c. Carotenoid changes in the juice of the ripening Dancy tangerine (*Citrus reticulata*.) *Lebensm. Wiss. Technol.* 15:36-38.
- . 1982/83. Chlorophyll and carotenoid pigments in *Ribes* fruits. *Sci. Hort.* 18:131-136.
- . 1985. Carotenoid pigments in the developing cherry (*Prunus avium* cv. 'Donissen's Gelbe'). *Gartenbauwiss.* 50:88-90.
- . 1987. *Pigments in Fruits*. London: Academic Press.
- . 1991. *Pigments in Vegetables. Chlorophylls and Carotenoids*. New York: Avi: Van Nostrand Reinhold.
- Heinonen, M. I. 1990. Carotenoids and provitamin A activity of carrot (*Daucus carota* L.) cultivars. *J. Agric. Food Chem.* 38:609-612.
- Heinonen, M. I., V. Ollilainen, E. K. Linkola, P. T. Varo and P. E. Koivistoinen 1989. Carotenoids in Finnish foods: Vegetables, fruits, and berries. *J. Agric. Food Chem.* 37:655-659.
- Hermana, H. and M K. Muhilal 1995. "Identifying seasonal vitamin A rich foods and recommended preparation and preservation methods in Indonesia." In *Empowering Vitamin A Foods*. Eds. E. Wasantwisut and G. A. Attig. Bangkok: Institute of Nutrition. 53-60.
- Hiani, P. A. and M. V. C. Penteadó 1989a. Carotenóides e valores de vitamina A do fruto e da farinha de bocaiúva (*Acrocomia mokayáya* Barb. Rodr.) do Estado do Mato Grosso do Sul. *Rev. Farm. Bioquím. Univ. S. Paulo* 25:158-68.
- . 1989b. Mudanças na composição dos carotenóides da bocaiúva (*Acrocomia mokayayba* Barb. Rodr.) com a estocagem em congelador a -20°C. *Rev. Farm. Bioquím. Univ. S. Paulo.* 25:169-176.
- Hidaka, T., T. Anno and S. Nakatsu 1987. The composition and vitamin A value of the carotenoids of pumpkins of different colors. *J. Food Biochem.* 11:59-68.
- Homnava, A., J. Payne, P. Koehler and R. Eitenmiller. 1991. Characterization of changes during ripening of oriental persimmon. *J. Food Qual.* 14:425-434.
- Howard, L. R., R. T. Smith, A. B. Wagner, B. Villalon and E. E. Burns. 1994. Provitamin A and ascorbic acid content of fresh pepper cultivars (*Capsicum annuum*) and processed jalapeños. *J. Food Sci* 59:362-365.
- Hunter, R. F. and R. M. Krakenberger. 1947. The oxidation of β -carotene in solution by oxygen. *J. Chem. Soc.* 1-4.

Hussein, L. and M. El-Tohamy. 1989. Effect of supplementation with vitamin A or plant carotenes on plasma retinol levels among young Egyptian males. *Int. J. Vit. Nutr. Res.* 59:229-233.

—. 1990. Vitamin A potency of carrot and spinach carotenes in human metabolic studies. *Int. J. Vit. Nutr. Res.* 60:229-235.

Huyskens, S., R. Timberg and J. Gross. 1985. Pigment and plastid ultra-structural changes in kumquat (*Fortunella margarita*) "Nagami" during ripening. *J. Plant Physiol.* 118:61-72.

Izaki, Y., K. Yoshida, K. Hidaka. and K. Toda. 1986. "Chlorophylls, carotenes and tocopherols in green vegetables and their relationships." (in Japanese). *J. Jap. Soc. Nutr. Food Sci.* 39:485-493.

Jalal, F. 1991. Effects of deworming dietary fat, and carotenoid rich diets on vitamin A status of preschool children infected with *Ascaris lumbricoides* in West Sumatra Province, Indonesia. Dissertation. Cornell University. Ithaca, N.Y.

Jayarajan, P., V. Reddy and M. Mohanram. 1980. Effect of dietary fat absorption of β -carotene from green leafy vegetables in children. *Ind. J. Med. Res.* 71:53-56.

Jideani, V. A. E. 1992. Carotene retention in palm oil by mechanised and traditional processes. *J. Food Sci. Technol.* 29:68-69.

John, J., C. Subbarayan, and H. R. Cama. 1970. Carotenoids in 3 stages of ripening of mango. *J. Food. Sci.* 35:262-265.

Kopas-Lane, L. M. and J. J. Warthesen. 1995. Carotenoid photostability in raw spinach and carrots during cold storage. *J. Food Sci.* 60:773-776.

Katayama, T., T. O. M. Nakayama, T. H. Lee and C. O. Chichester. 1971. Carotenoid transformations in ripening apricots and peaches. *J. Food Sci.* 36:804-806.

Khachik, F. and G. R. Beecher. 1987. Application of a C₄₅- β -carotene as an internal standard for the quantification of carotenoids in yellow/orange vegetables by liquid chromatography. *J. Agric. Food Chem.* 35:732-738.

—. 1988. Separation and identification of carotenoids and carotenol fatty acid esters in some squash products by liquid chromatography. I. Quantification of carotenoids and related esters by HPLC. *J. Agric. Food Chem.* 36:929-937.

Khachik, F., G. R. Beecher and W. R. Lusby. 1989. Separation, identification, and quantification of the major carotenoids in extracts of apricots, peaches, cantaloupe, and pink grapefruit by liquid chromatography. *J. Agric. Food Chem.* 37: 1465-1473.

- Khachik, F., G. R. Beecher and N. F. Whitaker. 1986. Separation, identification, and quantification of the major carotenoid and chlorophyll constituents in extracts of several green vegetables by liquid chromatography. *J. Agric. Food Chem.* 34:603-616.
- Khachik, F., M. B. Goli, G. R. Beecher, J. Holden, W. K. Lusby, M. D. Tenorio and M. R. Barrera. 1992. Effect of food preparation on qualitative and quantitative distribution of major carotenoid constituents of tomatoes and several green vegetables. *J. Agric. Food Chem.* 40:390-398.
- Kimura, M., D. B. Rodriguez-Amaya and H. T. Godoy. 1990. Assessment of the saponification step in the quantitative determination of carotenoids and provitamin A. *Food Chem.* 35:187-195.
- Kimura, M., D. B. Rodriguez-Amaya and S. M. Yokoyama. 1991. Cultivar differences and geographic effects on the carotenoid composition and vitamin A value of papaya. *Lebens. Wissen. Technol.* 24:415-418.
- Kon, M. 1989. "The color of green vegetables and fruits and the contents of carotene and chlorophyll in them," (in Japanese). *Kaseijaku Kenkyu.* 35:99-105.
- Kon, M. and R. Shimba. 1987. "Changes of carotenoids in Japanese persimmon (Yotsumizo) during maturation, storage and drying process," (in Japanese). *Nippon Shokukin Kogyo Gakkaishi.* 34:155-162.
- . 1989. "Changes in carotenoid composition during preparation and storage of frozen and freeze-dried squash." (in Japanese). *Nippon Shokukin Kogyo Gakkaishi.* 36:619-624.
- Koskitalo, L. N. and D. P. Ormrod. 1972. Effects of sub-optimal ripening temperatures on the color quality and pigment composition of tomato fruit. *J. Food Sci.* 37:56-59.
- Krinsky, N. I. 1989. Antioxidant functions of carotenoids. *Free Radical Biol. Med.* 7:617-635.
- . 1990. "Carotenoids in medicine." In *Carotenoids. Chemistry and Biology*. Eds. N. L. Krinsky, M. M. Mathews-Roth and R. F. Taylor. New York: Plenum Press, 279-291.
- . 1994. The biological properties of carotenoids. *Pure Appl. Chem.* 66:1003-1010.
- Kukimura, H., K. Komaki and M. Yoshinoga. 1990. Current progress of sweet potato breeding in Japan. *JARQ.* 24:169-174.
- Kukimura, H., T. Yoshida and K. Komaki. 1988. New sweet potato cultivars, Benihayato and Satsumahikari. making a new turn for processing. *JARQ.* 22:7-13.
- Lala, V. R. and V. Redda. 1970. Absorption of beta-carotene from green leafy vegetables in undernourished children. *Am. J. Clin. Nutr.* 23:110-113.

- Lian, O. K., L. T. Tie, C. S. Rose, D. D. Prawiranegara and P. Gyorgy. 1976. Red palm oil in the prevention of vitamin A deficiency. A trial on preschool children in Indonesia. *Am. J. Clin. Nutr.* 20: 1267-1274.
- Linehan, M. 1994. *Assessment of Food Preservation Activities for Vitamin A Nutrition*. Arlington, VA: VITAL Report No. IN-30.
- Linehan, M., K. Paddock and M. Mansour. 1993. *Solar Drying for vitamin A*. Washington DC: USAID-VITAL.
- Lee, C. Y. 1986. Changes in carotenoid content of carrots during growth and post-harvest storage. *Food Chem.* 20:285-293.
- Lee, C. Y., N. L. Smith and R. W. Robinson. 1984. Carotenoids and vitamin A value of fresh and canned winter squashes. *Nutr. Rep. Int.* 29:129-133.
- Lee, D. S., S. K. Chung and K. L. Yam. 1992. Carotenoid loss in dried red pepper products. *Int. J. Food Sci. Technol.* 27:179-185.
- Lee, W. G. and G. R. Ammerman. 1974. Carotene stereoisomerization in sweet potatoes as affected by rotating and still retort canning. *J. Food Sci.* 39:1188-1190.
- Liu, Y. K. and B. S. Luh. 1977. Effect of harvest maturity on carotenoids in pastes made from VF- 145-7879 tomatoes. *J. Food Sci.* 42:216-220.
- Lotha, R. E. and D. S. Khurdiya. 1994. Effect of methods of juice extraction from Kinnow mandarin on the composition and quality of juice, pomace and peel. *J. Food Sci. Technol.* 31:380-384.
- Malchev, E., S. Tanchev, N. Ioncheva and K. Kalpakchieva. 1989. Changes in carotenoids during the storage of red pepper powder obtained by drying red pepper paste. *Nahrung.* 33:799-803.
- Manorama, R. and C. Rukmini. 1991. Effect of processing on β -carotene retention in crude palm oil and its products. *Food Chem.* 42:253-264.
- Mariath, J. G. R., M. C. C. Lima and L. M. P. Santos. 1989. Vitamin A activity of buriti (*Mauritia vinifera* Mart) and its effectiveness in the treatment and prevention of xerophthalmia. *Am. J. Clin. Nutr.* 49:849-853.
- Marty, C. and C. Berset. 1988. Degradation products of *trans*- β -carotene produced during extrusion cooking. *J. Food Sci.* 53:1880-1886.
- Mathews-Roth, M. M. 1985. Carotenoid and cancer prevention—experimental and epidemiological studies. *Pure Appl. Chem.* 57:717-722.

—. 1991. Recent progress in the medical applications of carotenoids. *Pure Appl. Chem.* 63:147-156.

Matus, Z., J. Deli and J. Szabolcs. 1991. Carotenoid composition of yellow pepper during ripening: Isolation of β -cryptoxanthin 5,6-epoxide. *J. Agric. Food Chem.* 39:1907-1914.

Mercadante, A. Z. and D. B. Rodriguez-Amaya. 1989. Comparison of normal-phase and reversed-phase gravity-flow column methods for provitamin A determination. *Chromatographia.* 28:249-252.

—. 1990. Carotenoid composition and vitamin A value of some native Brazilian green leafy vegetables. *Int. J. Food Sci. Technol.* 25:213-219.

—. 1991. Carotenoid composition of a leafy vegetable in relation to some agricultural variables. *J. Agric. Food Chem.* 39:1094-1097.

—. 1993. Composition of carotenoids in two mango cultivars and mango juice obtained by HPLC. Paper presented at the 10th International Symposium on Carotenoids, Trondheim.

Minazzi-Rodrigues, R. S. and M. V. C. Penteado. 1989. Carotenóides com atividade pró-vitaminica A em hortaliças folhosas. *Rev. Farm. Bioquím. Univ. S. Paulo.* 95:39-52.

Mínguez-Mosquera, M. I. and B. Gandul-Rojas. 1994. Mechanism and kinetics of carotenoid degradation during the processing of green table olives. *J. Agric. Food Chem.* 42:1551-1554.

Mínguez-Mosquera, M. I. and J. Garrido-Fernández. 1989. Chlorophyll and carotenoid presence in olive fruit. *J. Agric. Food Chem.* 37:1-7.

Mínguez-Mosquera, M. I., J. Garrido-Fernández and B. Gandul-Rojas. 1989. Pigment changes in olives during fermentation and brine storage. *J. Agric. Food Chem.* 37:8-11.

Mínguez-Mosquera, M. I. and D. Hornero-Mendez. 1994a. Formation and transformation of pigments during the fruit ripening of *Capsicum annuum* cv. Bola and Agridulce. *J. Agric. Food Chem.* 42:38-44

—. 1994b. Comparative study of the effect of paprika processing on the carotenoids in peppers (*Capsicum annuum*) of the Bola and Agridulce varieties. *J. Agric. Food Chem.* 42:1555-1560.

Mínguez-Mosquera, M. I., M. Jarén-Galán and J. Garrido-Fernández. 1993. Effect of processing of paprika on the main carotenes and esterified xanthophylls present in the fresh fruit. *J. Agric. Food Chem.* 41:2120-2124.

—. 1994a. Competition between the processes of biosynthesis and degradation of carotenoids during the drying of peppers. *J. Agric. Food Chem.* 42:645-648.

—. 1994b. Influence of the industrial drying processes of pepper fruits (*Capsicum annum* cv. Bola) for paprika on the carotenoid content. *J. Agric. Food Chem.* 42:1190-1193.

—. 1994c. Carotenoid metabolism during the slow drying of pepper fruits of the Agridulce variety. *J. Agric. Food Chem.* 49:2260-2264.

Mitchell, G. E., R. L. McLauchlan, T. R. Beattie, C. Banos and A. A. Gillen. 1990. Effect of gamma irradiation on the carotene content of mangos and red capsicums. *J. Food Sci.* 55:1185- 1186.

Moya, S. Y., L. A. Mejía, E. G. de Mejía and F. A. Vázquez. 1994. Efecto de la maduración y el secado en el contenido de carotenoides pro-vitamina A en Chile (*Capiscum annum* anaheim). *Arch. Latinoamer. Nutr.* 44:41-46.

Murphy, E. W., P. E. Criner and B. C. Gray. 1975. Comparisons of methods for calculating retentions of nutrients in cooked foods. *J. Agric. Food Chem.* 23: 1153-1157.

Nagra, S. A. and S. Khan. 1988. Vitamin A (β -carotene) losses in Pakistani cooking. *J. Sci. Food Agric.* 46:249-251.

Nyambaka, H. and J. Ryley. 1996. An isocratic reversed-phase HPLC separation of the stereoisomers of the provitamin A carotenoids (α - and β -carotene) in dark green vegetables. *Food Chem.* 55:63-72.

Ogunlesi, A. T. and C. Y. Lee. 1979. Effect of thermal processing on the stereoisomerisation of major carotenoids and vitamin A value of carrots. *Food Chem.* 4:311-318.

Okos, M., T. Csorba and J. Szabad. 1990. The effect of paprika seed on the stability of the red colour of ground paprika. *Acta Alimentaria.* 19:79-86.

Olson, J. A. 1996. The bioavailability of dietary carotenoids. Paper presented at the XVII IVACG Meeting, Guatemala.

Padmavati, K., S. A. Udipi and M. Rao. 1992. Effect of different cooking methods on β -carotene content of vegetables. *J. Food Sci. Technol.* 29:137-140.

Padula, M. and D. B. Rodriguez-Amaya. 1987. Changes in individual carotenoids and vitamin C on processing and storage of guava juice. *Acta Alimentaria.* 16:209-216.

Palozza, P. and N.I. Krinsky. 1992. Antioxidant effects of carotenoids *in vivo* and *in vitro*: An overview. *Methods Enzymol.* 213:403-420

Park, Y. W. 1987. Effect of freezing, thawing, drying, and cooking on carotene retention in carrots, broccoli and spinach. *J. Food Sci.* 52:1022-1025.

- Pedrosa, J. F., V. W. D. Casali, S. S. Cheng, M. I. F. Chitarra and V. D. de Carvalho. 1983. Variação na composição química durante o armazenamento de morangas e abóboras. *Pesq. Agropec. Bras.* 18:29-32.
- Penteado, M. V. C., R. S. Minazzi and L. B. Almeida. 1986. Carotenoides e atividade pró-vitamínica A de folhas de hortaliças consumidas no norte do Brasil. *Rev. Farm. Bioquím. Univ. S. Paulo* 22:97-102.
- Pepping, F., C. M. J. Vencken and C. E. West. 1988. Retinol and carotene content of foods consumed in East Africa determined by high performance liquid chromatography. *J. Sci. Food Agric.* 45:359-371.
- Pereira, S. M. and A. Begum. 1968. Studies in the prevention of vitamin A deficiency. *Ind J. Med. Res.* 56:362-369.
- Pesek, C. A. and J. J. Warthesen. 1987. Photodegradation of carotenoids in a vegetable juice system. *J. Food Sci.* 52: 744-746.
- Portocarrero, L., J. Q. Serrano, L. Canfield, T. Tarara and N. W. Solomons. 1992. Carrots and dietary vitamin A adequacy. *Food. Nutr. Bull.* 14:133-136.
- Quackenbush, F. W. 1987. Reverse phase HPLC separation of *cis* and *trans*-carotenoids and its application to β -carotenes in food materials. *J. Liq. Chromatogr.* 10:643-653.
- Quackenbush, F. W. and R. L. Smallidge. 1986. Nonaqueous reverse phase liquid chromatographic system for separation and quantitation of provitamins A. *J. Assoc. Off. Anal. Chem.* 69:767-772.
- Rahman, F. M. M. and K..A. Buckle. 1980. Pigment changes in capsicum cultivars during maturation and ripening. *J. Food Technol.* 15:241-249.
- Rahman, M. M., M. A. Wahed and M. Akbar Ali. 1990. β -Carotene losses during different methods of cooking green leafy vegetables in Bangladesh. *J. Food Comp. Anal.* 3:47-53.
- Rahman, M. M., M. A. Wahed, D. Mahalanabis and R. B. Sack. 1995. "Preparing and preserving green leafy vegetables for poor communities in Bangladesh." In *Empowering Vitamin A Foods*. Eds. E. Wasantwisut and G. A. Attig. Bangkok: Institute of Nutrition, 61-68.
- Ramakrishnan, T. V. and F. J. Francis. 1979. Coupled oxidation of carotenoids in fatty acid esters of varying unsaturation. *J. Food Qual.* 2:277-287.
- Ramos, D. M. R. and D. B. Rodriguez-Amaya. 1987. Determination of the vitamin A value of common Brazilian leafy vegetables. *J. Micronutr. Anal.* 3:147-155.
- . 1993. Avaliação das perdas de carotenóides e valor de vitamina A durante desidratação e liofilização industrial de espinafre. *Arq. Biol. Tecnol.* 36:83-94.

—. 1996. Unpublished results.

Rao, T. S. S. 1992. Changes in solubility, β -carotene and development of non-enzymatic browning of spray-dried, foam-mat-dried and freeze-dried whole egg powders packed in different packaging materials. *J. Food Sci. Technol.* 29:231-234.

Raymundo, L. C., C. O. Chichester and K. L. Simpson. 1976. Light-dependent carotenoid synthesis in the tomato fruit. *J. Agric. Food Chem.* 24:59-64.

Reddy, V., K. Vijayaraghavan, K. Bhaskarachary and M. Rani. 1995. "Carotene rich foods: The Indian experience." In *Empowering Vitamin A Foods*. Eds. E. Wasantsvisut and G. A. Attig. Bangkok: Institute of Nutrition. 15-28.

Reid, M. S., T. H. Lee, H. K. Pratt and C. O. Chichester. 1970. Chlorophyll and carotenoid changes in developing muskmelons. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 95:814-815.

Rock, C. L. and M. E. Sevendseid. 1992. Plasma β -carotene response in humans after meals supplemented with dietary pectin. *Am. J. Clin. Nutr.* 55:96-99.

Rodriguez-Amaya, D. B. 1989. Critical review of provitamin A determination in plant foods. *J. Micronutr. Anal.* 5:191-225.

—. 1990. Provitamin A determination—Problems and possible solutions. *Food Nutr. Bull.* 12:246-250.

—. 1993a. "Nature and distribution of carotenoids in foods." In *Shelf-Life Studies of Foods and Beverages. Chemical, Biological, Physical and Nutritional Aspects*. Ed. by G. Charalambous. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 547-589.

—. 1993b. "Stability of carotenoids during the storage of foods." In *Shelf Life Studies of Foods and Beverages. Chemical, Biological, Physical and Nutritional Aspects*. Ed. by G. Charalambous. Amsterdam: Elsevier Science Publishers. 591-628.

—. 1996. Assessment of the provitamin A contents of foods—the Brazilian experience. *J. Food Comp. Anal.* (in press).

Rodriguez-Amaya, D. B. and J. Amaya-Farfan. 1992. Estado actual de los métodos analíticos para determinar provitamina A. *Arch. Latinoamer. Nutr.* 42:180-191.

Rodriguez-Amaya, D. B. and M. Kimura. 1989. Carotenóides e valor de vitamina A em cajá (*Spondias lutea*). *Cienc. Technol. Aliment.* 9:148-162.

Rodriguez-Amaya, D. B. and C. A. Tavares. 1992. Importance of *cis*-isomer separation in determining provitamin A in tomato and tomato products. *Food Chem.* 45:297-302.

Rodriguez-Amaya, D. B., P. A. Bobbio and F. O. Bobbio. 1983. Carotenoid composition and vitamin A value of the Brazilian fruit *Cyphomandra betacea*. *Food Chem.* 12:61-65.

- Rodriguez-Amaya, D. B., H. T. Godoy, A. Z. Mercadante and D. M. R. Ramos. 1995. Carotenoid composition of underexploited Brazilian fruits. Paper presented at the 9th World Congress of Food Science and Technology, Budapest.
- Rodriguez-Amaya, D. B., H. T. Godoy, D. R. Ramos and S. M. Yokoyama. 1995. Avaliação da perda de β -caroteno no preparo doméstico de hortaliças. Paper presented the IX Encontro Nacional de Analistas de Alimentos, Joao Pessoa, Brazil.
- Roels, O. A., S. Djaeni, M. E. Trout, T. G. Lauw, A. Heath, S. H. Poey, M. S. Torwotjo and B. Suhadi. 1963. The effect of protein and fat supplementation on vitamin A-deficient Indonesian children. *Am. J. Clin. Nutr.* 12:380-387.
- Roels, O. A., M. Trout and R. Dujacquier. 1958. Carotene balances on boys in Ruanda where vitamin A deficiency is prevalent. *J. Nutr.* 65: 115- 127.
- Rotstein, A., J. Gross and A. Lifshitz 1972. Changes in the pulp carotenoid pigments of the ripening Shamouti orange. *Lebensm. Wiss. Technol.* 5:140-143.
- Rukmini, C. 1994. Red palm oil to combat vitamin A deficiency in developing countries. *Food. Nutr. Bull.* 15:126-129.
- Schiedt, K. and S. Liaaen-Jensen. 1995. "Isolation and analysis." In *Carotenoids. Isolation and Analysis*. Eds. G. Britton, S. Liaaen-Jensen and H. Pfander. vol. 1A, Basel: Birkhauser Verlag, 81-108.
- Sian, N. K. and S. Ishak. 1991. Carotenoid and anthocyanin contents of papaya and pineapple: Influence of blanching and predrying treatments. *Food Chem.* 39:175-185.
- Simon, P. W. and X. Y. Wolff. 1987. Carotenes in typical and dark orange carrots. *J. Agric. Food Chem.* 35:1017-1022.
- Simonetti, P., M. Porrini and G. Testolin 1991. Effect of environmental factors and storage on vitamin content of *Pisum sativum* and *Spinacea oleracea*. *Italian J. Food Sci.* 3:187-196.
- Simpson, K. L. 1983. Relative value of carotenoids as precursors of vitamin A. *Proc. Nutr. Soc.* 42:7-17.
- Speck, P., F. Escher and J. Solms. 1977. Effect of salt pretreatment on quality and storage stability of airdried carrots. *Lebensm. Wiss. Technol.* 10:308-313.
- Speck, A. J., S. Speck-Saichua and W. H. P. Schreurs 1988. Total carotenoid and β -carotene contents of Thai vegetables and the effect of processing. *Food. Chem.* 27:245-257.
- Sudhakar, D. V. and S. B. Maini. 1994. Stability of carotenoids during storage of mango pulp. *J. Food Sci. Technol.* 31:228-230.

- Sweeney, J. P. and A. C. Marsh. 1971. Effect of processing on provitamin A in vegetables. *J. Am. Diet. Assoc.* 59:238-243.
- Takama, F. and S. Saito. 1974. Studies on the storage of vegetables and fruits. II. Total carotene content of sweet pepper, carrot, leek and parsley during storage. *J. Agric. Sci. (Japan.)* 19:11
- Tee, E.-S. & C.-L. Lim. 1991. Carotenoid composition and content of Malaysian vegetables and fruits by the AOAC and HPLC methods. *Food Chem.* 41:309-339.
- Terão, J. 1989. Antioxidant activity of β -carotene-related carotenoids in solution. *Lipids.* 24:659-661.
- Thakur, B. R. and S. S. Arya. 1988. Relative suitability of plastic films for the frozen storage of mango pulp. *J. Food Proc. Pres.* 12:171-178.
- Thomas, P. and M. T. Janave. 1975. Effects of gamma irradiation and storage temperature on carotenoids and ascorbic acid content of mangoes on ripening. *J. Sci. Food Agric.* 26:1503-1512.
- Trujillo-Quijano, J. A., D. B. Rodriguez-Amaya, W. Esteves and G. F. Plonis. 1990. Carotenoid composition and vitamin A values of oils from four Brazilian palm fruits. *Fat Sci. Technol.* 92:222-226.
- Tsou, S. and R. Y. Yang. 1996. Personal communication.
- Urbányi, G. and K. Horti. 1989. Colour and carotenoid content of quick-frozen tomato cubes during frozen storage. *Acta Alimentaria.* 18:247-267.
- Vaidya, Y. 1995. "Vitamin A food production and use in Nepal". In *Empowering Vitamin A Foods*. Eds. E. Wasantwisut and G. A. Attig. Bangkok: Institute of Nutrition, 29-44
- Valadon, L. R. G. and R. S. Mummery. 1981. Effect of canning and storage on carotenoids (vitamin A activity) and vitamin C in Spanish and Turkish oranges. *J. Sci. Food Agric.* 32:737-743.
- Van Zeben, W. 1946. The absorption of carotene in man. *Z. Vitaminforsch.* 17:74-84.
- Wadhwa, A., A. Singh, A. Mittal and S. Sharma. 1994. Dietary intervention to control vitamin A deficiency in seven- to twelve-year-old children. *Food Nutr. Bull.* 15:53-56.
- Wasantwisut, E., P. Sungpuag, V. Chavasit, U. Chittchang, S. Jittinandana and T. Viriyapanich. 1995. "Identifying and recommending vitamin A rich foods in Northeast Thailand." In *Empowering Vitamin A Foods*. Eds. E. Wasantwisut and G. A. Attig. Bangkok: Institute of Nutrition, 69-90.

- Watanabe, K., T. Saito, S. Hirota, B. Takahashi and N. Fujishita 1991. "Carotenoid pigments in orange, light orange, green and white flesh colored fruits of melon (*Cucumis melo* L)," (in Japanese). *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*. 38:153-159.
- Wilberg, V. C. and D. B. Rodriguez-Amaya. 1995. HPLC quantitation of major carotenoids of fresh and processed guava, mango and papaya. *Lebensm. Wiss. Technol.* 28:474-480.
- Wills, R. B. H. 1987. Composition of Australian fresh fruit and vegetables. *Food Technol. Australia*. 39:523-596.
- Woodward, J. R. 1972. Physical and chemical changes in developing strawberry fruits. *J. Sci. Food Agric.* 23:465-473.
- Wu, Y., A. K. Perry and B. P. Klein. 1992. Vitamin and β -carotene in fresh and frozen green beans and broccoli in a simulated system. *J. Food Qual.* 15:87-96.
- Yuyama, L. K. O., R. M. D. Favaro, K. Yuyama and H. Vannucchi. 1991. Bioavailability of vitamin A from peach palm (*Bactris gasipaes* H.B.K.) and from mango (*Mangifera indica* L.) in rats. *Nutr. Res.* 11:1167-1175
- Zechmeister, L. 1949. Stereoisomeric provitamins A. *Vitam. Horm.* 7:57-81.
- Ziegler, R. G. 1991. Vegetables, fruits, and carotenoids and the risk of cancer. *Am. J. Clin. Nutr.* 53:251 S-259S.