

FUENTES ALIMENTARIAS

Las comunidades humanas dependen de una gama muy amplia de alimentos de origen vegetal y animal para satisfacer sus requisitos alimentarios de vitamina A. Los vegetarianos parciales ("ovolacto") y los vegetarianos estrictos (que no comen ningún alimento de origen animal) pueden satisfacer todas sus necesidades nutricionales de fuentes de origen vegetal solamente, con la excepción de la vitamina B₁₂. Los productos de origen animal son generalmente costosos y rara vez se depende de ellos casi exclusivamente para satisfacer los requisitos. La Figura 2.1 muestra el abastecimiento de alimentos que contienen

vitamina A para el período de 1979–81 en el mundo entero y en 6 regiones. No se considera que los datos se hayan modificado sustancialmente. Debe señalarse que Asia y África, donde ocurren los problemas más graves de trastornos por deficiencia de vitamina A, dependen en mayor medida de fuentes vegetales. Además, las variaciones interregionales son mayores para el consumo de vitamina A preformada que para la disponibilidad total de esta. Estos hechos deben tener alguna influencia en la política alimentaria, dado que se relacionan con la prevención de los trastornos por deficiencia de esta vitamina.

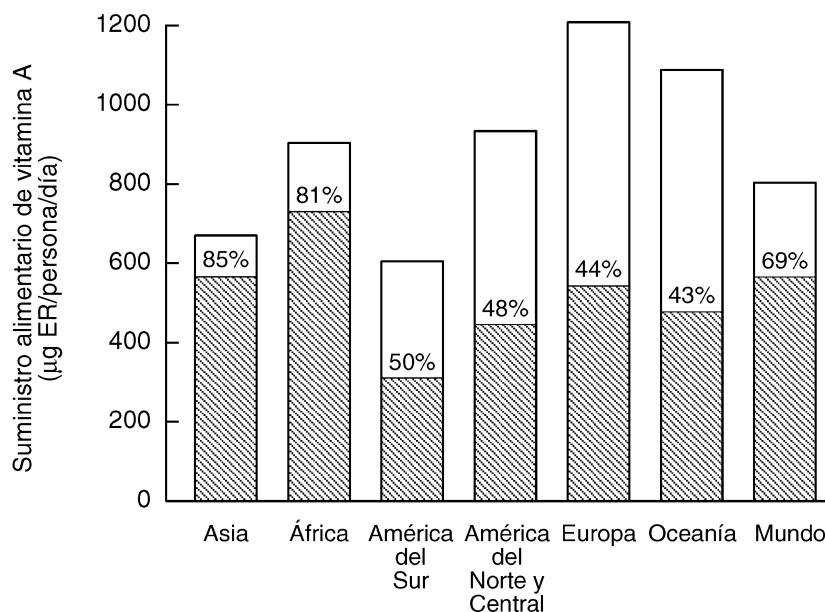


Figura 2.1. Consumo alimentario total de vitamina A dividido por el porcentaje disponible de carotenoides de provitamina A (segmento sombreado, % indicado) y fuentes alimentarias de vitamina A preformada (segmentos claros), para el período que va de 1979 a 1981 (Consulta de Expertos de la FAO/OMS, 1988)

Los datos en la Figura 2.1 corresponden al consumo de carotenoides de provitamina A. Aunque no hay datos similares para el consumo de carotenoides que no son provitamina A, de acuerdo con la información sobre la composición de los carotenoides de las frutas y las hortalizas comunes, es probable que el consumo de los últimos sea incluso mayor. Se desconoce hasta hoy la importancia para la salud humana, pero se conocen bien las propiedades antioxidantes de algunos de ellos.

Unidades de actividad de la vitamina A

Los métodos analíticos anteriores no lograron distinguir los distintos carotenoides y, consecuentemente, los carotenoides que no son provitamina se incluyeron con frecuencia junto a aquellos que presentan actividad de vitamina A cuando se suministraron las concentraciones en los cuadros de composición alimentaria para las frutas y las hortalizas. Por ejemplo, un análisis indicó que sólo el 7% del valor del caroteno calculado era en realidad β -caroteno o provitamina A. La introducción de la HPLC preparó las condiciones para la solución de este problema, pero la realización de análisis exactos y el reemplazo de los resultados incorrectos anteriores por los nuevos en los cuadros de composición alimentaria ha tomado tiempo (ver Cuadro 2.1).

Claramente, es importante comprobar el método de análisis antes de la utilización de los valores para la actividad de los carotenoides de provitamina A en las publicaciones.

Otro problema que debe abordarse con respecto a la actividad de la vitamina A de los productos alimenticios es la necesidad de tener en cuenta las diferencias de actividad en

Cuadro 2.1. Valores de provitamina A en tomates: comparación de diferentes métodos analíticos (Simpson, Chichester, 1981)

| Metodología | Valor promedio $\mu\text{g/g}$ |
|--|-----------------------------------|
| β -caroteno por HPLC | 1.218 |
| β -caroteno y licopeno por HPLC | 11.001 |
| Método AOAC* | 18.063 |

* Asociación de Analistas Químicos Oficiales (Association of Official Analytical Chemists)

tre el retinol en sí y el β -caroteno, y también de diferenciar entre la actividad del β -caroteno y otros carotenoides de provitamina. Las razones para estas diferencias se considerarán posteriormente. Para los fines actuales basta decir que la posición generalmente aceptada puede expresarse según se muestra en el Cuadro 2.2.

Los valores para la actividad de la provitamina son aproximaciones y dado que la biodisponibilidad de los carotenoides puede verse influida por una variedad de factores, nunca será posible obtener valores precisos (ver la sección sobre biodisponibilidad de los carotenoides). La duda que ha surgido recientemente sobre la eficacia de las hojas color verde oscuro en los programas de intervención (ver Capítulo 10) está promoviendo considerable investigación en este campo.

Fuentes de carotenoides de provitamina A

Las verduras de hojas color verde oscuro, los frutos amarillos, las raíces color anaranjado - principalmente las zanahorias - y los aceites de palma son las fuentes principales de provi-

Capítulo 2

Cuadro 2.2. Unidades Internacionales (UI) y Equivalentes de Retinol (ER) (Olson, 1991)

| Compuesto | μg/UI | UI/μg | ER/μg | μg/ER |
|--|-------|-------|-------|-------|
| Todo- <i>trans</i> retinol | 0,300 | 3,33 | 1,000 | 1,0 |
| Todo- <i>trans</i> acetato de retinilo | 0,344 | 2,91 | 0,873 | 1,15 |
| Todo- <i>trans</i> palmitato de retinilo | 0,549 | 1,82 | 0,546 | 1,83 |
| Todo- <i>trans</i> β-caroteno | 1,800 | 0,56 | 0,167 | 6,0 |
| Carotenoides mezclados* | 3,600 | 0,28 | 0,083 | 12,0 |

* Carotenoides de provitamina A, con excepción de β-caroteno

tamina A. Entre las hojas solo aquellas de color verde oscuro son realmente buenas fuentes, dado que su contenido de carotenoides en los cloroplastos es proporcional a la concentración de clorofila con la cual se asocian en la fotosíntesis. Las hojas comestibles de color verde oscuro están fácilmente disponibles en la mayoría de las zonas donde los trastornos por deficiencia de vitamina A son un problema. Las especies varían considerablemente de un lugar a otro y el Cuadro 2.3 muestra ejemplos de aquellas que se consumen más comúnmente y que han resultado sumamente útiles en los programas de intervención.

Hortalizas

Los análisis actuales tienden a informar sobre el contenido de cada carotenoide identificado, independientemente de la presencia o la ausencia de actividad de provitamina. Esto tiene el valor adicional de indicar el valor del producto alimenticio como una fuente de actividad antioxidante. El Cuadro 2.4 muestra las concentraciones de luteína y β-caroteno en las hortalizas.

En las hortalizas de hoja, el β-caroteno y la luteína son los carotenoides principales y juntos representan más del 80% de los carotenoides. Los α- y γ-carotenos, la criptoxantina y el licopeno son componentes menores.

Cada vez con mayor frecuencia se cultivan zanahorias en lugares del mundo en desarrollo y pueden variar considerablemente en el contenido de carotenoides (ver Cuadro 2.5). Un rasgo característico es la concentración relativamente alta de α-caroteno la cual es generalmente cerca de la mitad de la concentración de β-caroteno.

Cuadro 2.3. Ejemplos de fuentes comunes de carotenoides en hortalizas/frutos

| | μg ER/100 g porción comestible |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Mango (dorado) | 307 |
| Papaya (solo) | 124 |
| Calabaza (pulpa madura) | 862 |
| Palma de buriti (pulpa) | 3.000 |
| Aceite de palma roja | 30.000 |
| Zanahoria | 2.000 |
| Verduras de hoja color verde oscuro | 685 |
| Tomate | 100 |
| Albaricoque | 250 |
| Batata, roja y amarilla | 670 |

Cuadro 2.4. Concentraciones de luteína y β -caroteno en las hortalizas verdes ($\mu\text{g}/100\text{ g}$ peso fresco) (Ong, Tee, 1992)

| Hortaliza | Luteína | β -Caroteno |
|--|--------------|-------------------|
| Verde, de hojas* (4 tipos) | – | 330 – 5.030 |
| Verde, sin hojas (6 tipos) | – | 217 – 763 |
| Hortalizas "crucíferas" (5 tipos) | 280 – 34.200 | 80 – 14.600 |
| Verduras de hoja (32 tipos) | – | 1.000 – 44.400 |
| Hortalizas tuberosas y frijoles (16 tipos) | – | 40 – 1.700 |
| Verde, de hojas* (7 tipos) | 250 – 10.200 | 1.000 – 5.600 |
| Otras hortalizas (19 tipos) | trazas – 440 | 11 – 430 |
| Verde de hojas* (27 tipos) | 73 – 29.900 | 97 – 13.600 |
| Verde, sin hojas (8 tipos) | 142 – 460 | 74 – 569 |

* Valores de referencias diferentes

En el tomate el licopeno excede la concentración de β -caroteno. Los carotenoides principales en la calabaza son α -caroteno, β -caroteno y luteína.

Frutos

La actividad de la vitamina A de las frutas es generalmente inferior a la de las verduras de hojas, y su contenido de carotenoides es más complejo. Su mayor aceptabilidad, especialmente entre los niños pequeños, es una ventaja en lo que respecta a los programas de intervención (ver Cuadro 2.6).

Raíces y tubérculos

Se han realizado menos análisis en raíces y tubérculos que en hortalizas o frutos y la mayoría de las variedades examinadas tuvieron un contenido bajo (ver Cuadro 2.7). Sin embargo, los valores más altos para algunas variedades pigmentadas indican que la fitogenética puede ser de importancia para las mismas (ver Capítulo 10).

Aceites vegetales

Los carotenoides están presentes en la mayoría de los aceites que se consumen, pero generalmente en concentraciones bajas. El aceite de palma roja (*Elaeis sp.* ver Cuadro 2.8) contiene la concentración más alta de carotenoides en el reino vegetal y se ha estudiado ampliamente por el contenido de ácidos grasos no saturados y por el alto contenido de β -caroteno. Diferentes especies tienen diferentes concentraciones (ver Cuadro 2.8), como es el caso de los extractos de aceite (ver Cuadro 2.9). El aceite de palma roja es el principal aceite de cocina en la mayoría de las regiones de África occidental y central, pero la palma también se cultiva en el Lejano Oriente y América del Sur. Este aceite imparte un sabor distintivo a los alimentos el cual no es fácil de adquirir y hay muchas especies. La "pasta dulce" del fruto buriti (*Mauritia vinifera*) en el norte y en el centro del Brasil es también muy rica en carotenoides de provitamina A.

Capítulo 2

Otras fuentes

Los huevos de gallina a menudo se consideran una fuente rica en provitamina A debido al color brillante, pero los pigmentos principales son la luteína y la zeaxantina, y el β -caroteno representa menos del 7% del total. Algunas carnes de pescado tienen colores bri-

llantes, pero la mayoría de los pigmentos son xantófilos.

Los extractos naturales que contienen carotenoides se han utilizado por mucho tiempo para colorear alimentos a fin de que se vean más atractivos. Estos han sido extractos de hojas, zanahorias y aceite de palma roja. El

Cuadro 2.5. Concentraciones de α - y β -caroteno en zanahorias ($\mu\text{g}/100$ g peso fresco) (Ong, Tee, 1992)

| Zanahoria | α -Caroteno | β -Caroteno |
|---------------------------------------|--------------------|-------------------|
| Cruda | 2.000 – 5.000 | 4.600 – 12.500 |
| Enlatada | 3.200 – 4.800 | 7.000 – 11.000 |
| Congelada | 8.400 – 8.800 | 26.000 – 28.100 |
| Cruda | 3.790 | 7.600 |
| Cruda, A+ híbrida | 10.650 | 18.350 |
| Recientemente cocinada, A+ híbrida | 15.000 | 25.650 |
| Enlatada | 2.800 | 4.760 |
| Línea B6273 | | |
| Liofilizada | 3.400 | 6.000 |
| Cruda | 3.200 | 5.200 |
| Congelada | 3.100 | 5.100 |
| Línea B9692 | | |
| Liofilizada | 6.100 | 13.800 |
| Cruda | 6.600 | 11.700 |
| Congelada | 6.600 | 11.600 |
| Línea HCM | | |
| Liofilizada | 20.300 | 28.200 |
| Cruda | 20.600 | 25.100 |
| Congelada | 20.400 | 25.500 |
| Cruda | | |
| 19 cultivares | 2.200 – 4.900 | 4.600 – 10.300 |
| Cruda | 3.410 | 6.770 |

Cuadro 2.6. Concentraciones de carotenoides en frutos ($\mu\text{g}/100$ g peso fresco)
(Ong, Tee, 1992)

| Fruto | Luteína | Criptoxantina | Licopeno | α -Caroteno | β -Caroteno |
|--------------------------------|----------|---------------|---------------|--------------------|-------------------|
| Plátano | 20 – 40 | 0 | 0 | 60 – 100 | 40 – 100 |
| Bayas, uvas, grosella negra | 20 – 200 | 0 | 0 | 0 – 60 | 6 – 150 |
| Mango | – | – | – | – | 63 – 615 |
| Naranja, mandarina | 20 – 30 | 7 – 300 | – | 20 | 25 – 80 |
| Papaya, sandía | 0 | 450 – 1.500 | 2.000 – 5.300 | 0 | 228 – 324 |
| Carambola | 60 | 1.070 | 0 | 0 | 28 |

β -caroteno fue el primer carotenoide sintético utilizado como colorante alimentario; otros son el apo-8'-carotenal y la cantaxantina. Los primeros dos tienen actividad de vitamina A y, por consiguiente, contribuyen también al consumo de nutrientes. Una cobertura extensa de los carotenoides en los productos alimenticios es incluida en Bauernfeind, 1981.

Cuadro 2.7. Concentraciones de carotenoides en varias raíces y tubérculos ($\mu\text{g}/100$ peso fresco) (Ong, Tee, 1992)

| Raíz o tubérculo | Luteína | Criptoxantina | Licopeno | β -Caroteno |
|-----------------------|---------|---------------|----------|-------------------|
| Batata | | | | |
| Diferentes variedades | — | 0 | – | 5 – 551 |
| | – | – | – | 1-4 |
| Variedad amarilla | 25 | 0 | 42 | 19 |
| Variedad anaranjada | 7 | 27 | 147 | 1.140 |
| Yuca | | | | |
| Variedad blanca | 2 | 3 | 1 | 20 |
| Amarillenta | – | – | – | 40 – 790 |
| Papa | 13 – 60 | trazas | trazas | 3 – 40 |
| Taro | 3 – 31 | 1 | 1 – 3 | 2 – 16 |

Capítulo 2

Cuadro 2.8. Carotenoides totales (ppm, calculado a 446 nm) de diversas especies de palma oleaginosa (Ong, Tee, 1992)

| | |
|---|-------|
| <i>E.o.</i> | 4.347 |
| <i>E.o.</i> x <i>E.g.</i> (<i>D</i>) | 1.846 |
| <i>E.o.</i> x <i>E.g.</i> (<i>P</i>) | 1.289 |
| <i>E.o.</i> x <i>E.g.</i> (<i>D</i>) x <i>E.g.</i> (<i>P</i>) | 864 |
| <i>E.g.</i> (<i>P</i>) | 380 |
| <i>E.g.</i> (<i>D</i>) | 948 |
| <i>E.g.</i> (<i>T</i>) | 610 |

E.o.=*Elaeis oleifera*; *E.g.*=*Elaeis guineensis*; *D*=*Dura*;
P=*Psisfera*; *T*=*Tenera*

Cuadro 2.9. Contenido de carotenoides de extractos de aceite de palma (ppm) (Ong, Tee, 1992)

| | |
|--------------------------|---------------|
| Aceite de palma crudo | 630 – 700 |
| Oleína de palma cruda | 680 – 760 |
| Estearina de palma cruda | 380 – 540 |
| Segundo aceite prensado | 1.800 – 2.400 |
| Aceite residual de fibra | 4.000 – 6.000 |

Biodisponibilidad de los carotenoides (de Pee, West, 1996)

En los últimos tiempos se ha venido comprobando que el consumo suficiente de vitamina A en forma de carotenoides no necesariamente garantiza un estado nutricional adecuado. Esto ha conducido a investigaciones intensivas para comprender los factores incluidos. En el análisis final, todos ellos actúan por diferentes mecanismos para influir en la biodisponibilidad, que puede definirse como la proporción de un nutriente - carotenoides de provitamina A en este caso - ingerido que se torna disponible para que el cuerpo la utilice. Para casi todo aspecto de este complejo tema hay más preguntas que respuestas; los lectores que tengan un interés

especial en este tema deben consultar la lista de Lecturas Recomendadas.

Entre otros muchos factores, la estructura química de un carotenoide determina si este tiene alguna disponibilidad en la actividad de vitamina A, pero la mayoría carecen de la misma. La actividad de β -caroteno se estableció en $1/6$ de la actividad del retinol, pero puede aproximarse más a $1/4$ si la cantidad en una comida es pequeña y desciende a $1/10$ a medida que aumenta la cantidad. La actividad de los otros carotenoides de provitamina A se fijó en $1/12$ de la actividad del retinol (Consulta de Expertos de la FAO/OMS, 1988). Los isómeros *todo-trans* parecen tener más actividad que los isómeros *cis*.

La matriz en la cual está encerrado un carotenoide en un alimento parece ser de considerable importancia. En las hojas verdes los carotenoides existen en los cloroplastos como complejos de pigmento-proteína que requieren la desintegración de las células para la liberación del carotenoide. En otras hortalizas y frutas los carotenoides a veces se encuentran en gotitas de lípidos de las cuales pueden liberarse fácilmente. La cocción de los alimentos ayuda en la liberación, pero si esta es prolongada puede conducir a la destrucción oxidativa del carotenoide. Los enlaces dobles de carbono-carbono de los carotenoides están sujetos a la oxidación por el oxígeno en el aire, y el calor puede ocasionar cambios estructurales, especialmente la isomerización de los *todo-trans* carotenoides a las formas *cis*.

Los componentes alimentarios pueden influir en la absorción. La grasa es importante para la absorción al igual que para la formación de micelas. Un estado nutricional adecuado de proteína y de zinc ayuda al mantenimiento del estado nutricional de la vitamina A y la vitami-



na E, como antioxidante, protege a la vitamina A de la oxidación. La fibra, la clorofila y los carotenoides que no son provitamina A como el licopeno, que se ingieren comúnmente, reducen la biodisponibilidad.

Factores biológicos, como casos extraordinarios de defectos enzimáticos de división o de mala absorción de grasa por diferentes causas, pueden reducir la biodisponibilidad. Mucho más importantes desde el punto de vista de la salud pública, especialmente en los países en desarrollo, son los parásitos intestinales, particularmente *Ascaris lumbricoides* y *Giardia lamblia*.

Vitamina A preformada

Se han mencionado ya los aceites de hígado de pescado como fuentes sumamente concentradas de vitamina A. Estos se usan como preparaciones farmacéuticas más que como elementos del régimen alimentario. El hígado de pescado a menudo se descarta junto con otros órganos blandos, pero si se consumiera, podría constituir una fuente valiosa de la vitamina en muchas partes del mundo en desarrollo. La forma de almacenamiento de la vitamina en peces de agua salada es el alcohol de la vitamina A₁ (retinol). En peces de agua dulce es el alcohol de la vitamina A₂ (3-deshidrorretinol), que contiene aproximadamente el 40% de la actividad del retinol. Debido a los efectos teratogénicos de las grandes dosis de vitamina A, el consumo de hígado es contraindicado durante el embarazo (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentos, Reino Unido, 1995). La mayoría de los hígados de los mamíferos consumidos, como en el caso de terneros, bueyes, corderos o pollos, tienen concentraciones que son equivalentes a las del aceite de hígado de bacalao. La le-

che, la mantequilla, el queso y los huevos son todas fuentes moderadas. El Cuadro 2.10 ofrece una selección de las concentraciones de vitamina A preformada de algunos alimentos comunes.

La vitamina A se ha agregado con éxito a muchos alimentos (Bauernfeind, 1981). Lo que se denomina fortificación de alimentos (u ocasionalmente nutrificación) es uno de los principales métodos a largo plazo para el control del problema de los trastornos por deficiencia de vitamina A y se trata en mayor profundidad en el Capítulo 10.

Cuadro 2.10. Ejemplos de fuentes animales comunes de vitamina A (μg de retinol/100g porción comestible)

| | |
|-------------------------------------|---------|
| Aceites grasos de hígado de pescado | |
| Lenguado | 900.000 |
| Bacalao | 18.000 |
| Tiburón | 180.000 |
| Arenque y caballa | 50 |
| Productos lácteos | |
| Mantequilla | 830 |
| Margarina, con vitaminas | 900 |
| Huevos | 140 |
| Leche | 40 |
| Queso, tipo graso | 320 |
| Carnes | |
| Hígado de oveja y buey | 15.000 |
| Carne de vaca, carnero, cerdo | 0 – 4 |