

# aspectos nutricionales y saludables de los productos de panificación



Mariane Lutz  
Alberto Edel León  
Editores



## Aspectos nutricionales y saludables de los productos de panificación

© Universidad de Valparaíso-Editorial 2009  
Aspectos nutricionales y saludables de los productos de panificación  
Mariane Lutz / Alberto Edel León. Editores

Nº de Incripción: 177831  
I.S.B.N.: 978-956-214-094-2

Diseño y diagramación: Gonzalo Catalán  
Diseño portada: Constanza Tejada  
Supervisión de textos: Rubén Dalmazzo

Impreso en Chile / Printed in Chile

# Aspectos nutricionales y saludables de los productos de panificación

Mariane Lutz / Alberto Edel León  
Editores



Editorial



# Índice

Prólogo	9
Autores	11
Introducción	14
I. Relación entre la alimentación y la salud del consumidor Mariane Lutz y Angela Zuleta	17
II. Indicadores de calidad nutricional Marcela Alviña	26
III. Alimentos funcionales en la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles Mariane Lutz	38
IV. Hidratos de carbono como ingredientes funcionales Angela Zuleta y Héctor Araya	51
V. Valor nutricional y saludable de materias primas para la elaboración de productos de panificación María Cristina Añon, María Cecilia Puppo, Ruth Pedroza-Islas, Bonastre Oliete y Dora Villagómez-Zavala	71

VI. Efecto de los tratamientos tecnológicos sobre la calidad nutricional y saludable de panes y productos de panadería	120
Patricia Ronayne, Carla Brites, Cristina Ferrero, Marcia Arocha y Alberto E. León	
VII. Productos de panificación funcionales	146
Héctor Araya y Marcela Alviña	
VIII. Productos de panificación dirigidos a grupos especiales de la población	168
Gabriela Pérez, Guillermo Docena y Renata Curciarello.	
IX. Aspectos legales en relación con los alimentos funcionales: definiciones y normativa	183
Mariane Lutz, Carola Greco y María Joao Trigo	
Glosario de abreviaciones utilizadas en el texto	197

## Prólogo

En un mundo globalizado y a la vez mosaico heterogéneo de culturas y civilizaciones, existen necesidades básicas comunes y compartidas que suponen un gran reto para la comunidad científica. Combatir la malnutrición y aumentar la protección contra las enfermedades de la civilización —obesidad, enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo 2 y cáncer—, derivadas fundamentalmente de los malos hábitos alimentarios, constituyen temas complejos, transnacionales y de alta prioridad que necesitan tratarse de forma integrada para ofrecer productos beneficiosos, viables y atractivos para los ciudadanos, evaluados nutricionalmente por científicos y avalados por las autoridades sanitarias y las organizaciones que promueven la salud. En un mundo de similitudes y contrastes, que cuenta con quinientos millones de personas que pasan hambre y treinta mil que mueren diariamente de desnutrición, frente a mil millones de ciudadanos que padecen sobrepeso u obesidad, los cereales y sus derivados, en especial los productos de panificación, básicos, dinámicos y adaptados a las necesidades de distintos colectivos poblacionales, desempeñan un papel primordial en la nutrición y en la salud de los países tanto desarrollados como en vías de desarrollo. Los problemas de salud ocasionados por la escasez o el exceso en la ingesta de alimentos, ambos extremos asociados a una “mala” alimentación, han propiciado una reconsideración del valor nutricional y saludable de los productos derivados de los cereales, en particular los productos de panificación, como matrices alimentarias con valor añadido, versátiles, equilibradas y adaptables, portadoras de macro y micronutrientes endógenos y exógenos de alto valor nutricional.

En este contexto amplio y con futuro para la investigación de científicos y tecnólogos de cereales, el libro *Aspectos nutricionales y saludables de los productos de panificación* aporta una visión plural, en nueve capítulos, de la asociación Nutrición-Salud-Productos de panificación desde la perspectiva de diecinueve especialistas iberoamericanos integrantes del proyecto CYTED PANXTODOS. Los cuatro primeros capítulos abordan los aspectos generales del binomio nutrición/alimentación-salud. La relación entre la alimentación y la salud del consumidor (capítulo 1) precede al estudio de los distintos indicadores de la calidad nutricional (capítulo 2). El papel de los alimentos funcionales en la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles (capítulo 3) y el interés creciente de los ingredientes funcionales mayoritarios de muchas matrices alimentarias —los hidratos de carbono (capítulo 4)— ocupan un lugar destacado en el libro. Los cuatro capítulos siguientes tratan en profundidad de los productos de panificación funcionales. El valor nutricional y saludable de las materias primas utilizadas para la elaboración de productos de panificación, los efectos de los tratamientos tecnológicos sobre la calidad nutricional y

saludable de panes y productos de panadería y los productos de panificación dirigidos a grupos especiales de la población merecen estudio por separado en sendos capítulos. Finalmente, los aspectos legales en relación con los alimentos funcionales que incluyen definiciones y normativa se tratan en el último capítulo del libro.

Sin duda, esta publicación en español despertará gran interés por el oportuno tema que aborda, y en especial para la comunidad científica de habla hispana a la que se brinda una obra especializada y de calidad en su idioma.

Agradezco muy sinceramente a los co-editores de este libro su iniciativa al invitarme a escribir el prólogo en mi idioma, que ha supuesto para mí un honor y un orgullo.

Doctora Concha COLLAR  
Investigador Científico CSIC, España.

# Autores

## Editores

Mariane Lutz

(Temuco, Chile). Químico Farmacéutica, Magíster en Nutrición Humana. Profesora titular de Nutrición, Facultad de Farmacia, Universidad de Valparaíso. Directora Centro de Investigación y Desarrollo de Alimentos Funcionales (CIDAF), Universidad de Valparaíso. Subdirectora del Centro Regional de Estudios de Alimentos Saludables (CREAS), Región de Valparaíso, Chile. mariane.lutz@uv.cl

Alberto Edel León

(Villa María, Córdoba, Argentina). Bioquímico, Doctor en Ciencias Bioquímicas. Profesor de la Universidad Nacional de Córdoba e investigador del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina. Coordinador del proyecto CYTED Obtención de Productos de Panificación para Necesidades Específicas (PANXTODOS). aeleon@agro.uncor.edu

## Autores

Marcela Alviña

(Santiago, Chile). Nutricionista, Magíster en Ciencias Biológicas con mención en Nutrición. Profesora titular, Facultad de Farmacia. Directora de la carrera de Nutrición y Dietética, Universidad de Valparaíso. Investigadora del CIDAF y CREAS, Región de Valparaíso, Chile. marcela.alvina@uv.cl

María Cristina Añón

(La Plata, Buenos Aires, Argentina). Licenciada en Ciencias Bioquímicas, Doctora en Ciencias Bioquímicas. Profesora titular y Coordinadora del Área Bioquímica y Control de Alimentos, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata. Investigadora Superior del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina. mca@biol.unlp.edu.ar

Héctor Araya

(Iquique, Chile). Químico Farmacéutico. Profesor titular de Nutrición, Facultad de Medicina, Universidad de Chile y Facultad de Farmacia, Universidad de Valparaíso.

Investigador del CIDAF y CREAS, Región de Valparaíso, Chile.  
hector.araya@uv.cl

Marcia Arocha

(Pelotas, Rio Grande do Sul, Brasil). Economista doméstica, Doctora en Ciencia y Tecnología Agroindustrial. Profesora de la Universidad Federal de Pelotas, Departamento de Ciencias de los Alimentos, Brasil. gularte@ufpel.edu.br

Renata Curciarello

(La Plata, Buenos Aires, Argentina). Bioquímica, Departamento de Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata, Argentina.  
curciarello@biol.unlp.edu.ar

Guillermo Docena

(La Plata, Buenos Aires, Argentina). Bioquímico, Doctor de la Facultad de Ciencias Exactas. Profesor Adjunto de Inmunología, Departamento de Ciencias Biológicas, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata. Argentina.  
guidoc@biol.unlp.edu.ar

Cristina Ferrero

(Buenos Aires, Argentina). Doctora en Ciencias Químicas. Profesora Adjunta, Área Bioquímica y Control de Alimentos, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata. Miembro de la Carrera de Investigador, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina. cferrero@biol.unlp.edu.ar

Carola Beatriz Greco

(Buenos Aires, Argentina). Bioquímica. Docente e Investigadora de la Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de Buenos Aires, Argentina. cgreco@ffyb.uba.ar

Carla Moita Brites

(Lisboa, Portugal). Ingeniera Agro-Industrial, Doctora en Tecnología de Alimentos. Investigadora Estación Agronómica Nacional, Instituto Nacional de Recursos Biológicos, Oeiras, Portugal. carlambrites@mail.telepac.pt

Bonastre Oliete

(Vigo, Pontevedra, España). Licenciada y Doctora en Ciencia y Tecnología de los Alimentos con Máster en Dietética y Nutrición Humana. Profesora de la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias de la Universidad de Valladolid, España.  
bonastre@iaf.uva.es

Ruth Pedroza Islas

(México DF, México). Química Farmacéutica Bióloga, Doctora en Ciencias Químicas, Profesora del programa de Ingeniería de Alimentos de la Universidad Iberoamericana de México, México. ruth.pedroza@uia.mx

Gabriela Teresa Pérez

(Córdoba, Argentina). Bióloga, Doctora en Ciencias Biológicas. Profesora de la Universidad Nacional de Córdoba e Investigadora del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina. gaperez@agro.uncor.edu

Maria João de Almeida Pessoa Trigo

(Lisboa, Portugal). Médica Veterinaria. Investigadora principal Estación Agronómica Nacional, Instituto Nacional de Recursos Biológicos, Oeiras, Portugal. mjtrigo@gmail.com

María Cecilia Puppo

(La Plata, Buenos Aires, Argentina). Licenciada en Ciencias Químicas, Doctora en Ciencias Químicas. Profesora de la Universidad Nacional de La Plata e Investigadora del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales UNLP, Argentina. mcpuppo@quimica.unlp.edu.ar

Patricia Ronayne de Ferrer

(Ramos Mejía, Buenos Aires, Argentina). Doctora en Bioquímica. Profesora asociada de Bromatología, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Universidad de Buenos Aires, Argentina. pferrer@ffyb.uba.ar

Dora Luz Villagómez Zavala

(México DF, México). Química Farmacéutica Bióloga, cand. Doctorado en Tecnología Avanzada, Profesora del programa de Ingeniería de Alimentos de la Facultad de Estudios Superiores de Cuautitlán de la Universidad Nacional Autónoma de México, México. dora-luzvillagomezzavala@yahoo.com.mx

Ángela Zuleta

(Buenos Aires, Argentina), Bromatóloga, Magíster en Bromatología y Tecnología de la Industrialización de los Alimentos. Docente e investigadora de la Universidad de Buenos Aires, Argentina. azuleta@ffyb.uba.ar

# Introducción

Mariane Lutz

Universidad de Valparaíso y CREAS, Chile

Alberto Edel León

Universidad Nacional de Córdoba

y CONICET, Argentina

## Alimentos saludables y funcionales: la tendencia actual

Entre las políticas públicas que los países iberoamericanos están adoptando, o ya han hecho suyas, está la de priorizar la promoción de la salud, no sólo para prolongar la longitud de la vida, sino para mejorar su calidad. Una forma efectiva de contribuir a la prevención de las enfermedades prevalentes es la promoción de estilos de vida saludables, incluyendo una alimentación adecuada. A medida que aumenta la población de mayor edad, adquieren mayor relevancia las enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT), como son la hipertensión arterial, la artrosis, la artritis, las enfermedades coronarias, las bronquiales obstructivas, las cerebro-vasculares y el cáncer, entre otras.

Actualmente, se observa en los consumidores una creciente tendencia a elegir los alimentos que se asocian con su salud y bienestar. Esta situación se aprecia claramente en la oferta de productos cuya rotulación destaca que contienen cierto tipo de fibra dietética, que son integrales, que poseen ácidos grasos omega-3, antioxidantes u otros componentes que el consumidor común está aprendiendo a reconocer como un aporte saludable.

La nueva nutrición centra su interés en la relación entre la alimentación y la promoción de salud. En tal sentido, la nutrición actual se orienta a proveer de alimentos que, además de los nutrientes, contienen otros compuestos biológicamente activos que aportan un beneficio adicional. Así nació el concepto de Alimentos Funcionales (AF), cuya elaboración no sólo contempla la calidad nutricional, tecnológica y sensorial, sino que también contienen naturalmente o se han incluido en ellos componentes bioactivos. Estos compuestos, en su mayoría, se encuentran presentes en los alimentos vegetales (de allí su denominación de "fitoquímicos") y poseen estructuras químicas muy diversas, tales como carotenoides, isoflavonas, cumestanos, polifenoles diversos, fitoestanoles, ácido linoleico conjugado, epigallocatequina galato (EGCG), entre otros miles de compuestos que ejercen una actividad biológica beneficiosa. Existe gran cantidad de evidencia que avala que el consumo regular de estos compuestos bioactivos presenta una asociación positiva con respecto a la disminución del riesgo de desarrollar, entre otras, enfermedades cardiovasculares, cáncer, osteoporosis, hiperlipidemias, neurodegeneración.

Aunque no se ha consensuado universalmente una definición del término, el concepto de AF se aplica a aquellos alimentos que “tienen uno o más componentes que satisfactoriamente demuestran que afectan beneficiosamente una o más funciones determinadas del organismo, además de sus efectos nutricionales fundamentales, de manera que sean relevantes tanto para mejorar el estado de salud y bienestar y/o la reducción del riesgo de alguna enfermedad. Un AF debe ser un alimento y debe demostrar sus efectos en cantidades que normalmente se consumen en la dieta”. Los compuestos químicos bioactivos que ellos aportan al organismo ejercen funciones bioquímicas y fisiológicas beneficiosas que, en términos globales, contribuyen a lograr un “envejecimiento saludable”, a través de la reducción del riesgo de ECNT prevalentes en nuestra sociedad. En otras palabras: a medida que aumenta la cantidad de años vividos se puede, a través del estilo de vida, contribuir a mejorar la calidad de esos años, y es en este aspecto que la dieta ingerida cumple un rol fundamental.

La tendencia creciente en el desarrollo de AF se mantiene. La industria alimentaria ya ha definido esta tendencia como la de los alimentos “BFY” (*better for you*): los consumidores no siempre manejan correctamente los conceptos de alimentos saludables, orgánicos, naturales, nutritivos, funcionales, pero sí están aprendiendo a escoger aquellos productos que identifican como una ventaja para la mantención de su salud y bienestar. Y es en este sentido que desde la empresa, la academia y los entes reguladores se debe hacer un esfuerzo conjunto por manejar un lenguaje común adecuado y educar responsablemente al consumidor, que muchas veces se confunde ante el acúmulo de informaciones de dudosa (a veces francamente mala) calidad que permanentemente recibe desde todos los medios, así como a toda la comunidad de profesionales relacionados con la producción y tecnología de alimentos.

Los alimentos que contienen cereales, y en particular los productos de panificación, representan una alternativa interesante como productos saludables y/o funcionales ya que, fuera de las propiedades nutricionales propias de los cereales y sus derivados (harinas, salvado, germen o mezclas de ellos), cabe la posibilidad de transformarlos en AF al adicionarles compuestos bioactivos de efecto reconocido, tales como ciertos tipos de fibra dietética, prebióticos, ácidos grasos omega-3, antioxidantes u otros, medidas que pueden complementarse con el reemplazo de parte de las grasas saturadas por otras más saludables, la reducción del aporte de sodio, la adición de almidones resistentes a la digestión o el incremento de su porcentaje por modificaciones en la tecnología de elaboración, entre muchas otras alternativas. Los productos de panificación son económicos, fáciles de envasar y transportar, de prolongada conservación y de amplia aceptación. Estas características, sumadas al gran volumen de producción, abren inmensas posibilidades de elaboración de AF. La incorporación de compuestos beneficiosos para la salud puede ser de gran utilidad en la producción de AF. El desafío está planteado y sólo cabe realizar la investigación, el desarrollo y la innovación que conduzca a aumentar y mejorar la oferta de productos al consumidor.

Merece destacarse la amplia participación de especialistas en los diversos tópicos que se incluyen en esta obra. En el presente libro han participado investigadores de diferentes países iberoamericanos, cuya trayectoria y experiencia son reconocidas a nivel mundial, que han pre-

tendido plasmar sus conocimientos para ofrecer, a través de este libro, un material de consulta de utilidad para la investigación y la docencia. Los editores agradecemos a todos los autores el esfuerzo realizado para que la edición se realizara en el plazo previsto, al Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), programa PANXTODOS, por facilitar el contacto y la colaboración entre las personas que integran este proyecto, sin la cual no habría sido posible el desarrollo de esta actividad. En definitiva, agradecemos a todos quienes, de forma directa o indirecta, han contribuido a la edición de este libro.

# I. Relación entre la alimentación y la salud del consumidor

Mariane Lutz

Universidad de Valparaíso y CREAS, Valparaíso, Chile

Angela Zuleta

Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina

## Introducción

La nutrición está experimentando un veloz cambio de perspectiva para el beneficio de la salud humana. Las carencias nutricionales han pasado de las prioridades de investigación a las de las políticas públicas y, actualmente, el interés se centra en la relación entre el consumo de alimentos con atributos saludables, su rol en la prevención de las enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) y la mantención de una salud acorde al incremento de la longevidad. El foco está dirigido a lo que se ha denominado un “envejecimiento saludable”, como así también a los efectos de la alimentación sobre aspectos tales como las funciones cognitivas, inmunitarias, la capacidad de trabajo y el rendimiento deportivo.

La transición epidemiológica de la mayoría de los países iberoamericanos se evidencia por un aumento en la prevalencia de ECNT relacionadas con la alimentación, tales como las enfermedades cardiovasculares y el cáncer, aunque los problemas derivados de las carencias nutricionales subsisten en extensas áreas de la región. Numerosas investigaciones de indole epidemiológica y experimental han demostrado que el consumo de algunos alimentos puede actuar como factor de protección (frutas, verduras, cereales no refinados, leguminosas) o de riesgo (alimentos ricos en grasas saturadas, colesterol, sal, azúcares simples) de estas enfermedades. De estos estudios han surgido recomendaciones tendientes a disminuir, por ejemplo, el consumo de grasa o de sodio o bien a incrementar el contenido de nutrientes de la dieta, como ocurre con los productos fortificados en vitaminas y/o minerales o los suplementos alimentarios.

En este capítulo se describen algunos términos de uso frecuente en alimentación y nutrición, con énfasis en los conceptos asociados a lo que se considera una alimentación saludable, que contribuya a mejorar la calidad de vida de la población.

## Alimentos y dieta

Todo ser vivo necesita alimentos para vivir, ya que un organismo vivo mantiene sus componentes corporales y su crecimiento gracias a la alimentación. A través de los años se han utilizado diferentes definiciones sobre el concepto “alimento”, y todas ellas apuntan a que es toda sustancia (sólida o líquida) normalmente ingerida por los seres vivos para satisfacer el apetito, regular el metabolismo y mantener la temperatura corporal, entre otras diversas funciones fisiológicas. Los alimentos son “productos naturales o industrializados que se ingieren con el fin de cubrir una necesidad fisiológica” (OMS 2004). La legislación argentina considera alimento a “toda sustancia o mezcla de sustancias naturales o elaboradas que, ingeridas por el hombre, aporten a su organismo los materiales y la energía necesarios para el desarrollo de sus procesos biológicos”. La designación incluye, además, “las sustancias o mezclas de sustancias que se ingieren por hábito, costumbres, o como coadyuvantes, tengan o no valor nutritivo” (Código Alimentario Argentino). En Chile, el Reglamento Sanitario de los Alimentos (Ministerio de Salud 1997) indica que alimento o producto alimenticio es “cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas al consumo humano, incluyendo las bebidas y todos los ingredientes y aditivos de dichas sustancias”.

Por su amplitud y simpleza, se presenta además la definición de Bello Gutiérrez (2005), quien señala que los alimentos corresponden a “todo producto nutritivo de naturaleza sólida o líquida, natural o transformada, que por sus características, componentes químicos, estado de conservación y aplicaciones, resulta susceptible de ser utilizado para la alimentación humana”. Como en toda definición, puede discutirse si considera o no todas las perspectivas que cabe incluir, pero al menos permite cubrir aquellos aspectos sobre los cuales hay un consenso. A esta definición pueden agregarse características que reúnen algunos alimentos, como su valor nutritivo, sus características organolépticas o atributos sensoriales, su inocuidad y, como se discute más adelante, su característica de ser saludable o funcional.

Un segundo término base en el tema cuya definición es necesario aclarar es el de “dieta”. Normalmente los alimentos se ingieren por vía digestiva y condicionan la dieta, que se compone de todo lo que un individuo ingiere durante las 24 horas. Este conjunto de sustancias que se ingieren define los hábitos o comportamientos alimentarios y forma parte del estilo de vida. La palabra proviene del término griego *diata*, que significa “modo de vida”: en definitiva, todo ser vivo tiene su propia dieta (OMS 2004). La principal función de la dieta es aportar los nutrientes necesarios para satisfacer las necesidades o requerimientos nutricionales de cada persona. Los nutrientes pueden tener un carácter “esencial”, si deben ser incorporados preformados al organismo a través de los alimentos, o “no esencial”, si pueden ser formados en el organismo a partir de compuestos precursores.

Los alimentos son el objeto de estudio de diversas ciencias, desde enfoques distintos: a modo de ejemplo, la biología estudia los mecanismos de obtención, digestión y desecho por parte de los organismos, la bioquímica analiza el metabolismo y el rol de los compuestos ingeridos en células, tejidos y sistemas, la ecología estudia las cadenas alimentarias, la química investiga

la composición, la tecnología estudia la elaboración, producción y manejo de los productos destinados al consumo humano.

Continuando con la definición de términos, cabe señalar que “alimentación” y “nutrición”, aun cuando parecieran significar lo mismo, son conceptos diferentes. La “alimentación” permite tomar, a partir del medio que nos rodea, los alimentos que conforman la dieta. Es, por tanto, un proceso que abarca lo que ocurre de la boca hacia fuera o etapa pre-prandial. La “nutrición”, en cambio, es el conjunto de procesos que permiten la utilización de los nutrientes y otros componentes que contienen los alimentos para realizar sus funciones al interior del organismo. Es, por tanto, post-prandial.

La conformación de la dieta está condicionada por la disponibilidad de alimentos, que depende de las condiciones climáticas, edafológicas y de ubicación geográfica de cada región, pero también es consecuencia de razones religiosas, culturales e ideológicas, así como de fenómenos históricos, sociales, económicos y políticos. La alimentación, como consecuencia de muchos factores, toma en cuenta aspectos individuales, que en la escala de preferencias son muy variables, condicionados por múltiples agentes que actúan en función de preferencias estéticas, gastronómicas, entre otras, que a su vez están influidas por la publicidad y/o la disponibilidad de medios de compra.

También se deben atender las distintas necesidades o requerimientos nutricionales por las que transita el ser humano en las diferentes etapas de la vida y que condicionan su dieta, como la lactancia, niñez, adolescencia, embarazo, menopausia, vejez. Todas las fases de la vida requieren de una adecuación de la dieta a las necesidades propias de cada condición fisiológica. Otro condicionante es la presencia de enfermedades y/o intolerancias o alergias alimentarias, que normalmente suelen restringir la variedad y cantidad de algunos grupos de productos a ingerir. Los alimentos están destinados a suministrar estructuras químicas que permiten desarrollar las funciones del organismo y mantener la salud. En consecuencia, la salud y el buen funcionamiento del organismo es un continuo que depende de la dieta que se ingiera durante toda la vida.

## Nutrientes y compuestos bioactivos

Los compuestos químicos que deben ser incorporados al organismo a través de la dieta para cumplir funciones biológicas específicas son: agua, proteínas (que aportan aminoácidos), hidratos de carbono (CHO) simples y complejos, grasas o lípidos esenciales y no esenciales, minerales y vitaminas. Estos elementos han sido reconocidos como nutrientes, que son absorbidos desde el tracto digestivo para ejercer su acción y cuya deficiencia ocasiona síntomas y signos característicos que se recuperan al incorporar el nutriente faltante en la alimentación.

Los nutrientes han sido clasificados en dos grupos:

Esenciales:

Deben ser ingeridos preformados en la dieta, a partir de los alimentos, como es el caso de los aminoácidos esenciales (histidina, isoleucina, leucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptofano, valina), las vitaminas, los minerales y los ácidos grasos esenciales (linoleico, 18:2n-6 y  $\alpha$ -linolénico, 18:3n-3).

No esenciales:

Pueden ser sintetizados endógenamente a partir de precursores, como es el caso de los restantes aminoácidos, la glucosa, el ácido oleico, el colesterol, entre muchos otros.

Además de los nutrientes clásicamente reconocidos como necesarios para mantener la salud, existen cada vez más pruebas científicas de que algunos constituyentes de los alimentos ejercen efectos físicos y psicológicos beneficiosos, por lo que se les considera compuestos bioactivos. Es el caso de numerosos polifenoles, algunos carotenoides, diversos componentes de la fibra dietética, entre otros, que afectan positivamente la salud del consumidor, incluyendo algunos microorganismos.

El gran interés actual en el estudio de los beneficios del consumo de alimentos saludables se explica por las asociaciones que se han evidenciado entre el consumo de productos de origen vegetal, esencialmente frutas, verduras, cereales integrales y leguminosas, y sus efectos preventivos sobre patologías prevalentes (Hasler 2002). Los estudios epidemiológicos han demostrado una asociación inversa entre la prevalencia de estas enfermedades y el consumo de estos alimentos (American Heart Association 1997), que constituyen buenas fuentes de antioxidantes, tales como las vitaminas C, E y A y  $\beta$ -caroteno, utilizados por las plantas para protegerse de la oxidación, especialmente en aquellas partes expuestas a las radiaciones luminosas.

Sin embargo, cuando se ha investigado la relación entre el consumo de estos nutrientes antioxidantes con las patologías cardiovasculares, los resultados no han sido claros (Mayne 2003). Esta contradicción se explica porque tanto las frutas como las hortalizas, los cereales integrales y las leguminosas contienen otro tipo de compuestos que no son nutrientes, pero que poseen propiedades saludables, entre los cuales se encuentran los fitoquímicos, compuestos que en su gran mayoría son antioxidantes y que incluso pueden tener efectos sinérgicos con algunos nutrientes (Halverson y otros 2002). Si bien no ejercen un rol nutricional, puesto que no se trata de sustancias indispensables para el organismo, su consumo supone una protección adicional contra la acción nociva de sustancias provenientes de la dieta y del entorno ambiental que afectan la salud de la población. A este efecto de retardar y/o suprimir procesos dañinos como la carcinogénesis, se le denomina, en conjunto, quimiopreención (Murakami y otros 1998).

Se estima que existen más de 10.000 fitoquímicos de muy variada composición, los cuales, aunque no son nutrientes en el sentido clásico del término, han formado parte de la dieta prehumana y humana a lo largo de toda la evolución. Es el caso de los numerosos constituyentes

de la fibra dietética, que no son absorbidos para ejercer funciones biológicas definidas, pero actúan fundamentalmente a nivel del tracto gastrointestinal, donde ejercen una serie de efectos beneficiosos para el consumidor. También cabe mencionar los cientos de compuestos químicos de origen vegetal que tienen propiedades antioxidantes, reductoras de la inflamación, o que favorecen la detoxificación del organismo, a través de la inducción de enzimas que permiten excretar compuestos potencialmente dañinos, entre otros múltiples mecanismos de acción protectora (Eastwood 1999). Una proporción importante de estas acciones son ejercidas a través de la inducción de la expresión de genes que participan en la activación o inactivación de las vías metabólicas involucradas en el desarrollo de la enfermedad y, en consecuencia, reducen los factores de riesgo de ECNT, materia de la que se ocupa la nutrigenómica (Kaput 2008).

## Alimentos saludables

La década actual se caracteriza por la adopción de nuevos estilos de vida en la población, rápidos avances científico-tecnológicos, innovación industrial, apertura de fronteras, difusión inmediata de información y mayores exigencias de los consumidores. Las industrias de alimentos y fármacos han desarrollado diversos productos que apuntan hacia la promoción de la salud y el bienestar del consumidor. El desarrollo de esta industria ha sido extremadamente veloz, y los alimentos han pasado a constituir parte de la medicina actual, aun cuando esta relación fue descrita hace siglos.

Como se ha señalado, hoy en día los consumidores están cada vez más preocupados de su salud y autocuidado, y estos temas ya han pasado a formar parte de la cotidianidad, al mismo tiempo que la industria alimentaria hace uso de los atributos beneficiosos de los productos en sus campañas publicitarias. No obstante esta situación, aún falta mucha educación en alimentación y nutrición, de forma tal que se promueva un estilo de alimentación saludable que contribuya a la mantención de la salud y la reducción del riesgo de patologías, especialmente las del tipo ECNT.

El concepto de “alimentos saludables” puede ser abordado desde diferentes aspectos. Se considera que un alimento es saludable toda vez que es inocuo, y su ingestión no ocasiona ningún tipo de efectos negativos en la salud, lo cual puede atribuirse a que no posee agentes químicos, físicos o biológicos cuyo consumo represente un riesgo. También es saludable un alimento que contiene agentes que producen un efecto beneficioso al consumidor, sea en la forma de nutrientes o de compuestos que no lo son, pero que ejercen una acción biológica que contribuye a mantener la salud y/o reducir el riesgo de desarrollar alguna(s) enfermedad(es), como es el caso de los compuestos bioactivos.

Estas situaciones han sido reconocidas desde tiempos remotos, y existe una tradición milenaria de uso de alimentos para fomentar la salud e, incluso, tratar enfermedades. Sin embargo, sólo en las últimas décadas se ha comenzado a comprender la forma como ciertos alimentos ejercen sus acciones beneficiosas para la salud (véase el capítulo III), a través de la realización de

estudios que avalan estas propiedades y que incluyen metodologías de epidemiología, ensayos en animales, órganos aislados, tejidos y células y la bioquímica y genética moderna. De esta manera, se ha logrado validar aquello que nuestros ancestros conocían por siglos, es decir, que los compuestos bioactivos presentes en los alimentos son beneficiosos para la salud y el bienestar.

Como ya se indicó, a los compuestos bioactivos de los alimentos se les suele denominar fitoquímicos por encontrarse en forma natural en los productos de origen vegetal, como es el caso de cientos de carotenoides, polifenoles, compuestos que conforman la fibra dietética, elementos azufrados, entre muchos otros. Sin embargo, el espectro de elementos bioactivos va más allá de los vegetales y también incluye microorganismos vivos, como es el caso de los agentes probióticos (bacterias), los ácidos grasos (AG) poliinsaturados omega-3, generalmente de origen marino, el AG trans denominado ácido linoleico conjugado (CLA), presente en alimentos animales, especialmente en los productos lácteos, entre otros compuestos bioactivos que no obedecen estrictamente al término “fitoquímicos”.

Hoy en día nadie pone en duda las propiedades saludables de la ingestión de alimentos altos en fibra dietética en la salud del tracto digestivo, algo que describió con bastante detalle Hipócrates hace más de dos mil años, y se comprende cómo y por qué se genera el perfil epidemiológico de los pueblos que viven de la pesca, en los cuales las ECNT como las cardiovasculares son prácticamente desconocidas. Mientras el perfil genético humano ha sido bastante estable durante más de cuarenta mil años, en este período de tiempo ha cambiado mucho la forma de alimentación. Hace más de una década desde que Simopoulos (1999) describió lo que ha ocurrido con el consumo de grasas a través del tiempo, mostrando cómo en los últimos dos siglos la humanidad ha incrementado la ingesta de grasas totales, de grasas saturadas, de AG poliinsaturados de la familia omega-6 y AG trans, a la vez que ha reducido el consumo de AG omega-3, y cómo todos estos cambios se asocian con el incremento de las ECNT.

Desde el punto de vista de la calidad de los alimentos, la inocuidad es fundamental, pero también deben cumplir atributos de calidad organoléptica que condicionan la aceptabilidad de acuerdo a su capacidad de actuar sobre los sentidos, que determinan la aceptación o rechazo, y la calidad nutricional o el aporte de nutrientes y energía acorde a las necesidades del consumidor. A estas tres condiciones de calidad se suma una cuarta: la propiedad de otorgar beneficios para la salud. En consecuencia, la característica de ser saludable de un alimento no sólo radica en sus caracteres organolépticos, valor nutritivo, ausencia de riesgo de contener algún elemento nocivo, sino también en su aporte en compuestos beneficiosos para quien lo consume. De allí que muchos vegetales en su forma natural puedan cumplir o no con la definición: un tipo de fruta puede ser extraordinariamente buen aportador de polifenoles antioxidantes, pero si sus condiciones de cultivo no fueron adecuadas y se utilizaron productos riesgosos como pesticidas que permanecen en el tejido vegetal, la cualidad de ser saludable se pierde por completo.

Entre los alimentos cuya composición es modificada para otorgarles un atributo de beneficio saludable se cuentan los enriquecidos y fortificados, situaciones en las que se adiciona uno o más nutrientes. En el primer caso, se añade una cantidad específica de nutriente(s) para mejorar

el contenido normal del alimento (ejemplos: leche alta en calcio, cereales altos en niacina, jugo de naranjas con adición de vitamina C), y en el segundo se adicionan cantidades extras de los nutrientes que no están presentes en el alimento de manera natural (margarina con  $\beta$ -caroteno, bebida de fantasía con adición de calcio). En ambas situaciones mejora el valor nutritivo del producto.

Los alimentos saludables son producidos bajo condiciones de buenas prácticas (agrícolas u otras), con tecnologías que aseguran su inocuidad, y su composición química incluye nutrientes y no nutrientes que ejercen acciones beneficiosas para la salud del consumidor. Los alimentos funcionales, en tanto, poseen la característica de haber sido diseñados (cultivados o formulados) de forma tal que algunos de sus componentes afectan funciones del organismo de manera específica y positiva, promoviendo un efecto fisiológico o psicológico más allá de su valor nutritivo tradicional, contribuyendo a la mantención de la salud y el bienestar o a la disminución del riesgo de enfermar (Sloan 1999, Araya y Lutz 2003), como se describe en el capítulo III de este libro.

La creciente demanda de los consumidores por alimentos saludables ha llevado a nuevas definiciones de tipos de productos disponibles en el mercado. Es el caso de los denominados alimentos orgánicos, aquellos que no introducen sustancias químicas tales como plaguicidas o restos de abonos químicos, lo que es valorado como especialmente positivo. Sin embargo, son productos que poseen riesgos inherentes al propio sistema productivo, que deben ser controlados y verificados de forma específica para que, una vez que el mercado los acepte, no se conviertan en una fuente de problemas sanitarios. Según el *Codex Alimentarius* ([www.codexalimentarius.net/web](http://www.codexalimentarius.net/web)), máxima autoridad normativa para la mayoría de los países, la producción ecológica es un sistema de ordenación de la producción que promueve y mejora la salud de los sistemas agrarios, con inclusión de la biodiversidad, los ciclos biológicos y la actividad biológica del suelo.

En esencia, la producción orgánica se consigue mediante la utilización de métodos agronómicos, biológicos y mecánicos en lugar de materiales sintéticos, para desempeñar cualquier función específica, lo que excluye a los productos transgénicos. Es un sistema de producción de alimentos más amigable con el medio ambiente, porque favorece la biodiversidad y disminuye la contaminación química de suelos y aguas. En este contexto, debe existir una clara diferenciación que evite en el mercado la presencia de productos con denominaciones similares (Código Alimentario Argentino 1999). Por ello, es importante evitar la asociación de los alimentos orgánicos con términos tales como "natural" o "saludable". Los alimentos orgánicos más demandados son los que se consumen frescos, como frutas y verduras, y el primer parámetro a considerar frente a su oferta es el de la calidad y cantidad de nutrientes y compuestos que pueden ser beneficiosos.

A los productos orgánicos muchas veces se les relaciona con una imagen de alimentos saludables y ello se liga a su concentración de vitaminas y minerales, entre otros nutrientes. En un estudio reciente realizado por la Fundación Británica de Nutrición se concluyó que no existe evidencia científica que demuestre que un alimento orgánico es más saludable que otro que no lo sea (Crowley 2008). Lo que puede ocurrir es que las frutas y verduras orgánicas pueden exhibir mayor contenido de vitaminas y minerales que las convencionales debido a su menor contenido

en agua. El hecho de que no contengan pesticidas ni compuestos químicos artificiales hace prever que las enfermedades crónicas derivadas de la acumulación de esos residuos químicos disminuyen con el tiempo. Esta apreciación también afectaría al medio ambiente, puesto que la producción ecológica disminuye la contaminación de aguas subterráneas y suelos por la utilización de fertilizantes orgánicos de baja solubilidad, siempre que se utilicen en cantidades adecuadas. Por otra parte, no debe olvidarse que el aspecto de los alimentos ecológicos es menos agradable, ya que los tamaños no son tan homogéneos, hay variedades de diferentes colores e incluso de mal aspecto, aunque el sabor y la textura suelen ser los parámetros mejor valorados.

Como se ha señalado, la tendencia del consumidor actual es la de escoger alimentos que, además de ser inocuos, produzcan beneficio para su salud y bienestar, propiedades que otorgan los elementos bioactivos presentes en los alimentos. Entre los compuestos químicos cuyas propiedades saludables han sido evaluadas se encuentran proteínas, péptidos y aminoácidos, lípidos (AG, gliceroles, fitoestanoles y fitoesteroles), CHO (almidones resistentes, oligosacáridos no digeribles, polisacáridos distintos al almidón, elementos de la fibra dietética soluble e insoluble) y numerosos fitoquímicos tales como polifenoles, carotenoides, fitoestrógenos, lignanos, terpenos, tioles, entre otros, muchos de los cuales otorgan a los alimentos su característica funcional.

Para lograr que el consumidor acceda a productos saludables, es muy importante que tenga la opción de conocer las propiedades de los alimentos que escoge, lo cual se logra a través del etiquetado o rotulación. En la etiqueta se debe indicar claramente el aporte de algunos componentes importantes del producto, como su aporte energético o calórico, su contenido de grasa total, algunas grasas en particular (colesterol, AG saturados, AG trans), proteínas, fibra dietética, algunos minerales y/o vitaminas, carbohidratos disponibles, según el caso. Esta información debe estar expuesta de una forma que cada país establece en su normativa alimentaria (Vera y Castillo 2000) y tiene como objetivo la comercialización ética y el resguardo de la salud del consumidor. Diversos aspectos acerca de la normativa alimentaria se describen en el capítulo IX de este libro.

Para lograr establecer un etiquetado adecuado, es imprescindible analizar la composición química de los alimentos. Como señalaron Mc Cance y Widdowson, pioneros del análisis alimentario, hace casi setenta años: "El conocimiento de la composición química es el primer elemento esencial en el tratamiento alimentario de las enfermedades o en cualquier estudio cuantitativo de la nutrición humana" (Mc Cance y Widdowson 1940). Esta aseveración sigue plenamente vigente, sólo que en la actualidad ya no es suficiente conocer solamente el contenido de componentes clásicos, tales como proteínas, grasas, CHO, fibra dietética, minerales, vitaminas, sino que es necesario además conocer el contenido de una vasta gama de componentes presentes que afectan la salud del consumidor. Es así que las bases de datos de composición alimentaria cada vez están incorporando más información acerca de los componentes nitrogenados no proteicos, los isómeros de los AG insaturados (cis y trans), el colesterol, el almidón de digestión rápida y lenta, los polisacáridos no celulósicos, los ácidos orgánicos, los esteroides y estanoles, los fitoestrógenos, los polifenoles, entre otros (Greenfield y Southgate 2006)

## Referencias

- American Heart Association Science Advisory. 1997. Phytochemicals and cardiovascular disease. #71-0115 *Circulation*, 95: 2591-2593.
- Araya H, Lutz M. 2003. Alimentos saludables y funcionales. *Rev Chil Nutr*, 30: 8-14.
- Bello Gutiérrez, J. 2005. Calidad de vida, alimentos y salud humana. Fundamentos científicos. España, Díaz de Santos.
- Código Alimentario Argentino. 1971. Ley 18.284, Decreto 2126/71.
- Código Alimentario Argentino. 1999. Guía para producción, procesamiento, etiquetado y comercio de alimentos orgánicos (CAC/GL 32-1999).
- Crowley L. 2008. Organic food "good for you" says EU. Food Navigator Europe. [www.foodnavigator.com/news](http://www.foodnavigator.com/news). Consultado 28/07/2008.
- Greenfield H, Southgate DAT. 2006. Datos de composición de alimentos. Obtención, gestión y utilización. Burlingame BA, Charrondiere UR, editores. FAO, INFOODS, Roma.
- Halverson BL, Holte K, Myhrstad MCW, Barikmo I, Hvattum, E, Fagertun Remberg SF, Wold AB, Haffner K, Baugered H, Andersen LF, Moskaug JO, Jacobs DR, Blomhoff R. 2002. A systematic screening of total antioxidants in dietary plants. *J Nutr*, 132: 461-471.
- Hasler CM. 2002. Functional foods: benefits, concerns and challenges - A position paper from the American Council on Science and Health. *J Nutr*, 132: 3772-3781.
- Kaput J. 2008. Nutrigenomics research for personalized nutrition and medicine. *Curr Op Biotechnol*, 19: 110-120.
- Mayne ST. 2003. Antioxidant nutrients and chronic disease: use of biomarkers of exposure and of oxidative stress status in epidemiologic research. *J Nutr*, 133: 933S-940S.
- Mc Cance RA, Widdowson EM. 1940. The chemical composition of foods. *Med Res Coun Spec Rep Ser N° 235*. Londres, Her Majesty's Stationery Office.
- Ministerio de Salud de la República de Chile. 1997. Reglamento Sanitario de los Alimentos. Decreto Supremo N° 977.
- Murakami A, Koshimizu K, Ohigashi H. 1998. Chemoprevention with food phytochemicals: screening, rodent studies, and action mechanisms. *J Med Food*, 1: 29-38.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 2004. Global Strategy on Diet, Physical Activity and Health. Doc WHA57.17.
- Simopoulos A. 1999. Essential Fatty Acids in health and chronic disease. *Am J Clin Nutr*, 70 (suppl): 560S-569S.
- Sloan E. 1999. The new market: foods for the not-so-healthy. *Food Technol*, 53: 54-60.
- Vera G, Castillo C. 2000. Etiquetado Nutricional de Alimentos. Manual de Aplicación. Gobierno de Chile, Universidad de Chile, editores. Atelier Impresores, Santiago.

## II. Indicadores de calidad nutricional

Marcela Alviña

Universidad de Valparaíso y CREAS, Valparaíso, Chile

Los alimentos y preparaciones dietéticas entregan diversos aportes de nutrientes y energía; sin embargo, estas cantidades netas no son capaces por sí mismas de expresar su calidad. Para emitir un juicio de valor al respecto se utilizan los indicadores de calidad nutricional, los que pretenden expresar el potencial que tiene una preparación o dieta para cubrir las necesidades de nutrientes y energía de las personas que las consumen.

La mayoría de los indicadores de calidad nutricional relacionan la cantidad de un determinado nutriente con la energía contenida en esa preparación. De esta forma, una preparación de calidad será aquella que, en una cantidad de energía acorde a los requerimientos, contenga la ingesta recomendada de nutrientes. La idea implícita es que la calidad se asocia a garantizar la cobertura de las necesidades mínimas de nutrientes recomendadas para la población. En consecuencia, esta interpretación tiene más sentido en los países en que predominan las patologías derivadas del déficit de nutrientes. Sin embargo, estos mismos indicadores pueden aplicarse a los países que se caracterizan por una alta prevalencia de enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT). Este hecho se debe a que, en la mayoría de ellos, la calidad de un determinado nutriente está sujeta a la cantidad de energía contenida en la preparación. Una dieta de buena calidad es la que permite cubrir la necesidad de un nutriente sin consumir un exceso de energía, es decir, una preparación o dieta que evite el desarrollo del sobrepeso y obesidad y, por ende, todas las patologías asociadas. En este sentido, es apropiado considerar que la calidad nutricional puede ser sinónimo de calidad saludable, ya que propicia la conservación de una buena salud.

Es importante destacar que los indicadores de calidad nutricional se aplican a las preparaciones o dietas y no a los alimentos, ya que las necesidades de energía y nutrientes están determinadas para el día entero. Los valores de los distintos indicadores, calculados para un alimento, expresan la medida en que ellos afectan la calidad nutricional de la dieta, y no indican si ellos por sí mismos son de baja o alta calidad.

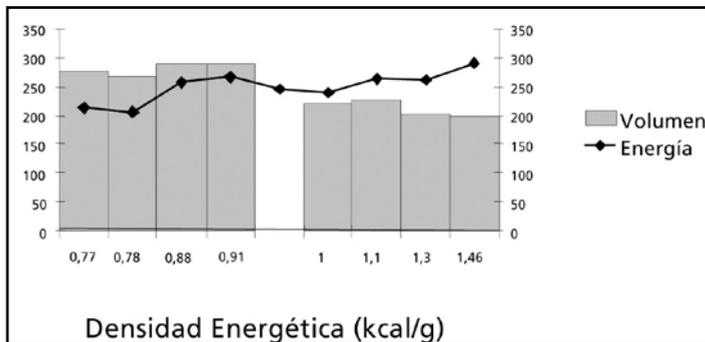
### Densidad energética (DE)

Es un indicador que relaciona la energía con el volumen de un alimento, preparación o dieta. Por lo tanto, refleja la capacidad de las preparaciones para cubrir las necesidades de energía de los individuos.

La DE se expresa como la cantidad de kilocalorías contenidas en cada gramo (kcal/g). Por ejemplo, una preparación que pesa 270 g, considerando todos los ingredientes sólidos y líquidos, incluyendo el agua, que aporta un total de 300 kcal, tendrá una DE de 0,9 kcal/g.

No existe un claro consenso respecto a los valores de DE recomendables. El informe de CAVENDES-UNU (1988) ha señalado cifras adecuadas para alimentos líquidos (0,75 kcal/mL) y para alimentos sólidos (2,0 kcal/g), haciendo una referencia al efecto de la humedad sobre la DE. Por otra parte, se han propuesto DE diferenciadas según la edad de los individuos, destacando que la capacidad gástrica de un niño menor de seis años es significativamente más reducida que la de un adulto. Así, valores de DE bajos (menores a 0,7 kcal/g) implicarán el consumo de una cantidad de alimentos que pudiera sobrepasar la capacidad gástrica de un niño pequeño, dejándolo sin cubrir sus requerimientos de energía (Araya y otros 1988, Alviña 1996, O'Donnell 1997, Torun 1997).

Estudios en preescolares chilenos (Figura 1) demuestran que las preparaciones tradicionales contienen alrededor de 1,0 kcal/g y que el consumo se hace mayor al disminuir la DE de la dieta (Araya y otros 1989). Sin embargo, este mayor volumen consumido aporta una cantidad de energía inferior a la lograda a través de preparaciones densas, a pesar de ser ingeridas en menor cantidad. La consecuencia de ofrecer dietas con DE superiores a 1,5 kcal/g será el riesgo de promover obesidad, toda vez que el consumo de volúmenes adecuados, o incluso pequeños, de esta dieta entrega más energía de la requerida. Considerando los antecedentes expuestos, valores desde 1,1 a 1,2 kcal/g en las preparaciones diarias parecen ser razonables para los distintos grupos étnicos (Araya y otros 1991, FAO 2005).



*Figura 1. Volumen y energía consumida por preescolares según preparaciones con distinta densidad energética.*

Los lípidos son los macronutrientes que aportan la mayor cantidad de energía por cada gramo (9 kcal/g). Es evidente entonces que, a mayor contenido de grasa de las preparaciones, mayor será también su DE. Sin embargo, tal como lo demuestra la Tabla 1, el factor de mayor incidencia sobre la energía de una dieta es su contenido de agua (Araya y otros 1988). Como se puede observar en la Tabla 1, las preparaciones en base a cereales cuya técnica culinaria requiere de un bajo contenido de humedad son las que, comparativamente, presentan las más altas DE.

*Tabla 1. Efecto de la densidad energética sobre el consumo en preescolares.*

*Fuente: Araya y otros 1988*

Alimento base de las preparaciones	Densidad Energética (kcal/g)	Humedad (%)	Consumo (g)
Tubérculos	0,66	83,1	436,8
	0,68	92,6	461,8
Leguminosas	0,74	81,0	393,5
	0,77	81,2	495,4
Tallarines	0,83	78,5	333,5
Arroz	0,86	77,9	432,6
	1,90	58,5	229,2

De acuerdo con lo descrito, la DE es un indicador de calidad de preparaciones o dietas y no es apropiado utilizarlo en alimentos aislados. Sólo a modo de referencia puede señalarse que existe una gran variedad de alimentos procesados de escaso volumen y alta DE (Adrian 2000), los que en su mayoría están elaborados a base de cereales con agregados de azúcar o sal y grasa, por lo general saturada. En la Tabla 2 se describe la DE de algunos alimentos elaborados a base de cereales y se observa que los productos de galletería son notoriamente más densos en comparación al pan, aportando cerca del doble de energía por cada gramo. Los valores fluctúan entre 2,5 y 5,0 kcal/g, lo que se aleja de la recomendación de DE para la alimentación de un día entero, que va desde 1,1 a 1,2 kcal/g.

*Tabla 2. Densidad energética de algunos productos de panificación y galletería*

*Fuente: Jury y otros 1997, Software Food Processor 9, USDA Handbook N°8*

Alimento	Densidad Energética (kcal/g)
Pan blanco	2,89
Pan molde	2,69
Pan integral	2,46
Pan amasado	4,29
Galletas soda	4,20
Galletas sin cobertura grasa	4,59
Galletas con cobertura grasa	4,84
Galletas con cobertura grasa y chocolate	5,02

El P% es un índice que se utiliza para evaluar la calidad nutricional de las dietas en cuanto a proteínas. Consiste en establecer la cantidad de energía que proviene de las proteínas respecto del total de la energía, sabiendo que 1 gramo de proteína aporta 4 kcal (Pellet y Young 1980). Los valores recomendados de P% se encuentran entre 10% y 12% (Cervera y otros 2004).

$$P\% = \frac{\text{g proteínas} \times 4 \text{ kcal}}{\text{kcal totales}} \times 100$$

La Tabla 3 muestra el aporte de proteínas y su relación porcentual con la energía de algunos productos de panificación y galletería. Se observa que estos últimos, en general, presentan valores más bajos de proteínas en comparación con los distintos tipos de pan, lo cual, sumado a su elevado contenido de energía, da como resultado un porcentaje de calorías proteicas significativamente más bajo.

*Tabla 3. P% de algunos productos de panificación y galletería.*

*Fuente: Jury y otros 1997, Software Food Processor 9, USDA 2005*

Alimento	Proteínas (g/100g)	P%
Pan blanco	9,1	12,6
Pan molde	8,7	12,9
Pan integral	10,6	17,2
Pan amasado con grasa	7,2	6,7
Galletas soda	8,5	8,1
Galletas sin cobertura grasa	5,6	4,9
Galletas con cobertura grasa	4,1	3,4
Galletas con cobertura grasa y chocolate	4,4	3,5

## Score o cómputo aminoacídico (CAA)

Este es un indicador de la calidad de las proteínas contenidas en un alimento, preparación o dieta. Las proteínas están constituidas por aminoácidos, de los cuales diez son esenciales para el ser humano. Como se indica en el capítulo I, la esencialidad se basa en la incapacidad de sintetizarlos endógenamente, por lo que deben provenir de la dieta. De esta manera, una dieta puede contener cantidad suficiente de proteínas y, sin embargo, ser deficiente en su calidad.

El Comité de Expertos FAO/UNU estableció, en 1985, un patrón aminoacídico de referencia que asegura los requerimientos de proteínas para cada grupo etáreo (FAO 1985). Los preescolares son el grupo de más alta exigencia proteica, por lo que se aconseja utilizar el patrón destinado a este grupo etáreo para evaluar la calidad de las proteínas de la dieta. De este modo, si el valor del CAA es adecuado al preescolar, también lo será para todos los otros grupos de la población por tener menores requerimientos aminoacídicos.

El CAA se expresa como la cantidad (mg) de aminoácido esencial por gramo de la proteína en estudio, en relación con la cantidad del mismo compuesto en la proteína de referencia (g), es decir, el patrón aminoacídico establecido para el preescolar. El resultado se expresa de manera

porcentual. El valor más bajo es el que corresponde al score y el aminoácido que lo produce se denomina "primer limitante". Si el valor obtenido para cada aminoácido fuese mayor a 100%, el score del alimento se establece en 100, ya que conceptualmente expresa una proteína completa. Los valores de CAA superiores a 80 se consideran recomendables.

$$\text{CAA} = \frac{\text{mg de aminoácido esencial /g proteína (estudio)}}{\text{mg de aminoácido esencial /g proteína (referencia)}} \times 100$$

Se recomienda hacer el cálculo del CAA sólo para los cuatro aminoácidos más frecuentemente deficientes en las dietas habituales, a saber: lisina, treonina, triptofano y azufrados totales.

Los cereales son deficientes en lisina, por lo que los productos de panificación y galletería, al tener como ingrediente básico algún cereal, presentan valores de CAA inferiores a 100 (Potter y Hotchkiss 1995). Esta situación es superada cada vez que se incluyen en la dieta ingredientes de origen animal (carnes, huevo, leche) o leguminosas.

## Relación porcentual grasa – energía (G%)

El G% corresponde a un indicador de calidad nutricional de las dietas que se relaciona con la concentración de los lípidos o grasas. Consiste en establecer la cantidad de energía que proviene de las grasas respecto del total de la energía, sabiendo que 1 gramo de lípidos aporta 9 kcal.

$$\text{G\%} = \frac{\text{g lípidos} \times 9 \text{ kcal}}{\text{kcal totales}} \times 100$$

Los valores recomendados de G% se encuentran entre 20% y 30% (Feldman 2006). El valor inferior se justifica para asegurar la ingesta de ácidos grasos esenciales y vitaminas liposolubles. El límite máximo, en tanto, se ha establecido para prevenir ECNT como las cardiovasculares, el sobrepeso y la obesidad (Cervera y otros 2004), ya que, como se describió anteriormente, la grasa es uno de los factores de mayor incidencia sobre la DE de las dietas.

En la Tabla 4 se aprecia que el aporte de lípidos de algunos productos de panificación es bajo. Por el contrario, los distintos tipos de galletas pueden alcanzar hasta ocho veces la cantidad de lípidos que presenta un pan blanco. En consecuencia, el G% del pan es relativamente bajo y bordea el 10%, en cambio el de las galletas puede llegar a 45%.

*Tabla 4. G% de algunos productos de panificación y galletería.  
Fuente: Jury y otros 1997, Software Food Processor 9, USDA 2005.*

Alimento	Lípidos (g/100g)	G%
Pan blanco	3,0	9,3
Pan molde	3,2	10,7
Pan integral	4,3	15,7
Pan amasado con grasa	20,7	43,4
Galletas soda	10,8	23,1
Galletas sin cobertura grasa	16,2	31,8
Galletas con cobertura grasa	20,5	38,0
Galletas con cobertura grasa y chocolate	25,4	45,4

## Tipos de ácidos grasos (AG)

Los lípidos están constituidos fundamentalmente por triglicéridos, formados por AG que difieren respecto a su largo de cadena y grado de saturación. Los AG saturados son aquellos que no poseen dobles enlaces, los monoinsaturados poseen un sólo doble enlace en su cadena carbonada y los poliinsaturados son los que presentan dos o más dobles enlaces (Mathews y otros 2002). Cada uno de estos tipos de AG cumple diversas funciones dentro del organismo, por lo que se ha establecido que una dieta de calidad, en cuanto a los lípidos, debe contener una proporción de 1:1:1 entre ellos (Riccardi y otros 2003).

Esta recomendación es difícil de lograr en una dieta occidental. A modo de referencia, en la Tabla 5 se muestra la relación que presentan algunos productos de panificación y galletería, no sin antes hacer notar que la proporción recomendada es aplicable a la dieta diaria, por lo que los valores tabulados son sólo indicativos de la medida en que el consumo de estos productos afecta su calidad total.

*Tabla 5. Contenido de ácidos grasos saturados (S), monoinsaturados (M) y poliinsaturados (P) y su relación (S:M:P) en algunos productos de panificación y galletería.  
Fuente: Jury y otros 1997, Software Food Processor 9, USDA 2005*

Alimentos	Acidos Grasos (g/100g)			S:M:P
	Saturados	Monoinsaturados	Poliinsaturados	
Pan blanco	0,66	1,18	0,69	1,0: 1,8: 1,0
Pan molde	0,73	1,41	0,91	1,0: 1,9: 1,2
Pan integral	1,28	1,50	1,14	1,1: 1,3: 1,0
Pan amasado con grasa	7,95	9,09	2,53	3,1: 3,6: 1,0
Galletas soda	2,27	4,29	2,86	1,0: 1,9: 1,3

Existen dos familias de AG esenciales: la del ácido linoleico (18:6n-6), que se caracteriza por tener el primer doble enlace en el sexto carbono a contar del metilo terminal (omega-6), y la del ácido  $\alpha$ -linolénico (18:3n-3), cuyo primer doble enlace se encuentra en el tercer carbono a partir del metilo terminal (omega-3). Ambos son esenciales, debido a que el ser humano carece de las enzimas necesarias para generar un doble enlace en las posiciones n-6 y n-3. Las funciones de estos AG de origen dietético, así como la de sus derivados formados a partir de ellos en el organismo, son diferentes, indispensables y, en algunos casos, opuestas. Por ejemplo, mientras unos derivados provocan vasodilatación, los otros producen vasoconstricción, por lo cual un determinado balance entre estos AG es lo que asegura el buen funcionamiento del organismo (Cunnane y Griffin 2002, Mahan y Escote-Stump 2004). La relación recomendada de ingesta de AG n-6/n-3 se ha establecido en 5/1, en función de los efectos preventivos de las ECNT que se han observado a nivel poblacional (USDA 2000, Wheatcroft y otros 2005).

## Índice glicémico (IG)

El IG clasifica los hidratos de carbono (CHO) de los alimentos en dos grupos: aquellos cuyo consumo provoca un efecto glicémico alto y aquellos que producen un efecto glicémico bajo. Este indicador, propuesto por Jenkins y otros (1981) obedece a la necesidad de distinguir el efecto fisiológico de los CHO independientemente de la complejidad de su estructura (simple o compleja), en tanto son capaces de elevar la glicemia y la insulinemia, así como también de producir saciedad. Por lo tanto, es un indicador de la calidad saludable de los alimentos respecto a sus CHO. La literatura refiere valores de IG iguales o superiores a 70 como poco saludables y bajo 45 o 40 como saludables y, por lo tanto, recomendables (Levitan y otros 2007, Hare-Bruun y otros 2006).

El IG se determina midiendo el área bajo la curva de glicemia que produce el consumo de 50 g de CHO de un alimento estándar en relación con la que produce el consumo de 50 g de CHO de un alimento ensayo (Figura 3), y el valor resultante se expresa como porcentaje. Como patrón de referencia se emplean la glucosa y el pan blanco, ya que ambos producen curvas glicémicas altas y amplias. En consecuencia, el pan blanco es el alimento patrón y presenta un IG de 100 (Mathers y Wolever 2002).

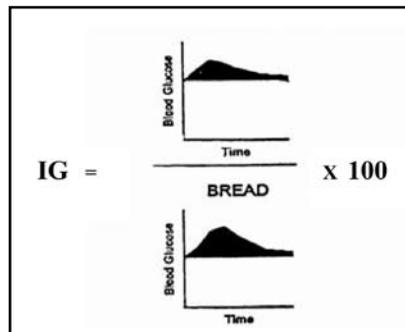


Figura 2. Representación gráfica de la metodología de cálculo del Índice Glicémico

## Carga glicémica

Este indicador tiene como propósito introducir la variable cantidad de CHO al indicador IG, ya que este último evalúa la calidad saludable de los alimentos sobre la base de una cantidad fija de CHO (50 g), que no representa la forma en que son consumidos, especialmente cuando se trata de preparaciones que mezclan diferentes alimentos. Por lo tanto, la carga glicémica se construye multiplicando el IG de una preparación por la cantidad de CHO que ésta contenga y dividiendo por cien (Brand-Miller 2003):

$$\text{Carga Glicémica} = \frac{\text{IG} \times \text{CHO (g)}}{100}$$

Para emitir un juicio respecto a si la carga glicémica de la dieta es baja o alta y, por lo tanto, saludable o no, se debe construir un valor de referencia. Una alternativa para este objetivo es considerar la cantidad de CHO que debiera consumir una persona, por ejemplo en un almuerzo, y multiplicar ese valor por un IG saludable (45 o menos). Así, el resultado representará la carga glicémica límite para clasificar una preparación de almuerzo como saludable o poco saludable.

## Densidad de nutrientes

Este indicador se aplica para evaluar la calidad de las dietas en vitaminas y minerales. Consiste en expresar la cantidad de estos nutrientes, según la modalidad de expresión (mg, µg, equivalentes de retinol, equivalentes de  $\alpha$ -tocoferol) dada en las recomendaciones de ingesta, por cada 1000 kcal de la dieta.

$$\text{Densidad de nutriente} = \frac{\text{Cantidad de nutriente de la dieta}}{\text{kcal de la dieta}} \times 1000$$

No existen valores recomendables de densidad de nutrientes, ya que la cifra sólo refleja la calidad de nutrientes encontrada en una determinada preparación o dieta. Para emitir un juicio de valor es necesario compararlo con la densidad ideal de nutrientes.

## Cómputo de nutrientes

Al comparar la densidad de nutrientes de una determinada preparación o dieta con la densidad ideal, se determina el cómputo de nutrientes y se expresa en términos porcentuales.

$$\text{Cómputo de nutrientes} = \frac{\text{Densidad de nutriente}}{\text{Densidad ideal de nutriente}} \times 100$$

La densidad ideal corresponde a la cantidad de nutriente que debiera contener la dieta en 1000 kcal, considerando la ingesta recomendada y el requerimiento de energía. La Tabla 6 muestra la densidad ideal de algunas vitaminas y minerales para hombre y mujer adulta.

*Tabla 6. Ingesta recomendada y densidad ideal de algunas vitaminas y minerales para hombre y mujer adulta.*

Nutrientes	Ingesta Recomendada*		Densidad ideal**	
	Hombre	Mujer	Hombre	Mujer
Tiamina (mg)	1,2	1,1	0,51	0,58
Riboflavina (mg)	1,3	1,1	0,56	0,58
Calcio (g)	1000	1000	427,4	534,8
Fósforo (g)	700	700	299,1	374,3

\* *Human Vitamin and Mineral Requirements (FAO/WHO 2002), Dietary Reference Intakes (DRIs) Food and Nutrition Board, Institute of Medicine (National Academies Press 2004)*

\*\* *La densidad ideal fue calculada utilizando el requerimiento energético para hombre y mujer adulta: 2340 kcal/día y 1870 kcal/día, respectivamente (FAO 2005).*

Los valores recomendables de cómputo de nutrientes deben ser iguales o superiores a 100. Conceptualmente, esto indica que la dieta contiene la cantidad adecuada de nutrientes en la porción de energía consumida. Si los valores son inferiores, implica que la dieta proveerá una cantidad inferior a la requerida en una porción de energía recomendada. Por lo tanto, para cubrir la ingesta recomendada del nutriente debiera consumir más energía de la recomendable, lo que propicia el sobrepeso y la obesidad.

A modo de ejemplo, en la Tabla 7 se detalla el cómputo de nutrientes de una porción de pan. Se puede observar que la densidad de nutrientes de esta porción es capaz de cubrir con creces la ingesta recomendada de tiamina y riboflavina, tanto para hombre como para mujer adulta, en el supuesto que ambos consuman una dieta ajustada a sus requerimientos calóricos. El cómputo de nutrientes para el fósforo refleja que una porción de pan se acerca a la ingesta recomendada, mientras que el cómputo para el calcio acusa que las necesidades de este mineral deben ser cubiertas con el aporte de otros alimentos.

*Tabla 7. Cómputo de nutrientes de una porción de 100 gramos  
de pan para hombre y mujer adulta*

Nutriente	Densidad de nutrientes del pan (mg o g/1000 kcal)	Densidad ideal de nutrientes (mg o g/1000 kcal)		Cómputo de nutrientes (%)	
		Hombre	Mujer	Hombre	Mujer
Tiamina (mg)	1,38	0,51	0,58	270,6	237,9
Riboflavina (mg)	0,83	0,56	0,58	148,2	143,1
Calcio (g)	148,8	427,4	534,8	34,8	27,8
Fósforo (g)	294,1	299,1	374,3	98,3	78,6

Los indicadores de calidad de preparaciones o dietas descritos en este capítulo fueron propuestos en una época en que el problema mundial apuntaba hacia el déficit de energía y nutrientes, motivo por el cual es necesario ampliar el enfoque de su uso al aplicarlos en la actualidad, en que muchos países presentan una alta prevalencia de ECNT, desarrolladas por el exceso de energía y algunos nutrientes. Al mismo tiempo, el avance en el conocimiento de la ciencia de los alimentos y la nutrición ha dejado de manifiesto que diversos compuestos bioactivos que no son nutrientes, al ser consumidos en la dieta, juegan un rol decisivo en salud, por lo que es de suma urgencia construir nuevos indicadores de calidad que contemplen la cantidad y calidad de estos no nutrientes, así como la sinergia y efectos inhibitorios que puedan producirse entre ellos. Esta nueva mirada puede arrojar como resultado indicadores de la calidad saludable y, en último término, de la calidad funcional de los alimentos.

## Referencias

- Adrian J. 2000. Análisis nutricional de los alimentos. Acribia, Zaragoza.
- Alviña M. 1996. Alimentación del preescolar y escolar menor. En: Ruz M, Araya H, Atalah E, Soto D, editores. Nutrición y Salud, Departamento de Nutrición, Facultad Medicina, Universidad de Chile. Santiago, pag 201-212.
- Araya H, Vera G, Pak N. 1988. An experimental model to establish recommended values of energy density. *Nutr Rep Internat*, 37: 241-248.
- Araya H, Alviña M, Vera G, Araya J, Pak N. 1989. Consumo de preparaciones con diferentes atributos nutricionales y texturales por preescolares de 2 a 3 años. *Rev Chil Nutr*, 17: 182-189.
- Araya H, Vera G, Alviña M. 1991. Manual de alimentación del preescolar. Imp Atelier, Santiago.
- Brand-Miller JC. 2003. Glycemic load and chronic disease. *Nutr Rev*, 61: S49-S55.
- CAVENDES-UNU. 1988. Guías alimentarias. Bases para su desarrollo en América Latina. Informe de la Reunión UNU/Fundación Cavendes, Caracas.

- Cervera P, Clapés J, Rigolfas R. 2004. Alimentación y dietoterapia: nutrición aplicada en la salud y la enfermedad. McGraw-Hill Interamericana, Madrid.
- Cunnane S, Griffin B. 2002. Nutrition and metabolism of lipids. En: Gibney M, Voster H, Kok F, editores. Introduction to Human Nutrition. Blackwell Science, pag 81-115.
- Fagan T. 2004. Lo esencial en el sistema cardiovascular. Ed Elsevier, Madrid.
- FAO. 1985. Necesidades de energía y de proteínas. Informe de una Reunión Consultiva Conjunta FAO/OMS/UNU de Expertos. Organización Mundial de la Salud. Serie de Informes Técnicos, Ginebra.
- FAO. 2005. Food and Nutrition Technical Report Series N°1. Human energy requirements. Report of a Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation, Roma.
- Feldman E. 2006. Nutrition and diet in management of hyperlipidemia and atherosclerosis. En: Shils M, Olson J, Shike M, editores. Modern Nutrition in Health and Disease. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia PA, pag 1298-1316.
- Hare-Bruun H, Flint A, Heitmann BL. 2006. Glycemic index and glycemic load in relation to changes in body weight, body fat distribution, and body composition in adult Danes. Am J Clin Nutr, 84: 871-979.
- Jenkins D, Wolever T, Taylor R, Barrer H, Fielden H, Baldwin A, Newman H, Jenkins A, Goff D. 1981. Glycemic index of food a physiological basis for carbohydrate exchange. Am J Clin Nutr, 34: 362-366.
- Jury G, Arteaga C, Taibo M. 1997. Porciones de intercambio y composición química de los alimentos de la pirámide alimentaria chilena. Universidad de Chile, Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos, Centro de Nutrición Humana, Facultad de Medicina, Santiago, Chile.
- Levitan E, Mittleman M, Hakansson N, Wolk A. 2007. Dietary glycemic index, dietary glycemic load, and cardiovascular disease in middle-aged and older Swedish men. Am J Clin Nutr, 85: 1521-1526.
- Mahan K, Escote-Stump S. 2004. Krause's Food, Nutrition and Diet Therapy. Saunders, Philadelphia, pag 347-350.
- Mathers J, Wolever T. 2002. Digestion and metabolism of carbohydrates. En: Gibney M, Vorster H, Kok F, editores. Introduction to Human Nutrition. Blackwell Science, pag 69-80.
- Mathews CH, van Holde KE, Ahern K. 2002. Bioquímica. Addison Wesley, Madrid, pag 349-390.
- O'Donnell A. 1997. Recomendaciones. Alimentación en el destete y dieta familiar. En: Nutrición y alimentación del niño en los primeros años de vida. OPS/OMS, pag 423-472.
- Pellet PL, Young VR. 1980. Evaluación nutricional de alimentos proteínicos. Programa mundial contra el hambre de la Universidad de las Naciones Unidas, pag 138.
- Potter N, Hotchkiss J. 1995. Ciencia de los alimentos. Acribia, Zaragoza, pag 421-450.
- Riccardi G, Rivellese A, Williams C. 2003. The cardiovascular system. En: Gibney M, Macdonald I, Roche H, editores. Nutrition and metabolism. Blackwell Science, Ames, Iowa, pag 224-246.
- The Food Processor 9. 2005. Nutrition software system. Version 5.0. ESHA Research. Salem, Oregon.

- Torun B. 1997. Requerimientos y recomendaciones nutricionales para niños de 0 a 5 años de edad. En: Nutrición y alimentación del niño en los primeros años de vida. OPS/OMS, pag 49-130.
- USDA. 2000. Nutrition and your health dietary guidelines for Americans. US Department of Agriculture and the Department of Health and Human Services.
- USDA. 2005. Composition of food. Agriculture Handbook N°8. Washington, DC.
- Wheatcroft S, Noronha B, Kearney M. 2005. The heart and blood vessels. En: Clinical Nutrition. Gibney M, Elia M, Ljungqvist O, Dowsett J, editores. Blackwell Science, Ames, Iowa, pag 268-293.
- [www.fao.org/amino-acid/](http://www.fao.org/amino-acid/) Content of foods and biological data on proteins. Consultado 30/07/2008.

### III. Alimentos funcionales en la prevención de enfermedades crónicas no transmisibles

Mariane Lutz

Universidad de Valparaíso y CREAS, Valparaíso, Chile

La promoción de la salud a través del fomento de estilos de vida más saludables, que mejoren la calidad de vida de la población, es la estrategia de intervención validada para un período de transición epidemiológica como el que viven numerosos países latinoamericanos. En estos países, las condiciones de vida en términos generales han mejorado, con un crecimiento del producto geográfico bruto y una disminución de las tasas de pobreza e indigencia. Sin embargo, esto no se asocia con una mejora de la alimentación: si bien existe un mayor consumo aparente de alimentos, se aprecia un incremento de aquellos productos de mayor aporte de grasa y un aumento de la ingesta de sal, pero el consumo de productos saludables como pescados, leguminosas, frutas, verduras y leche se ha mantenido e, incluso, disminuido (OMS 2006).

Prácticamente todos los factores de riesgo de las enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) de mayor prevalencia, tales como la presión sanguínea elevada, los niveles altos de colesterol total y/o de colesterol LDL en sangre, el sobrepeso, la resistencia a insulina, pueden ser potencialmente modificables desde el punto de vista nutricional. Sin embargo, algunos de estos factores se estarían modificando negativamente en los distintos países iberoamericanos, según la información entregada por las tendencias de consumo y las encuestas alimentarias. Diversos antecedentes permiten estimar que cerca de la mitad de las muertes por enfermedades cardiovasculares (ECV) y un tercio de los casos de cáncer pueden ser evitados si se adoptan estilos de vida saludables, incluyendo una alimentación adecuada, desde etapas tempranas (OMS 2004).

Prevenir enfermedades mediante la alimentación es una posibilidad que se basa en el conocimiento empírico de siglos de historia de la humanidad, fundamentado en el empleo de recursos vegetales que resultan familiares para el consumidor y cuyo manejo es de menor riesgo que los fármacos. Los consumidores se manifiestan cada vez más interesados en la relación entre salud, nutrición y dieta, en tanto que los industriales ven la oportunidad de desarrollar productos de esta naturaleza en un mercado de rápida expansión. Esto es avalado por la existencia de evidencia científica que demuestra que los compuestos bioactivos de los alimentos tienen un rol importante en disminuir los riesgos de desarrollo de las ECNT. En los últimos años se han propuesto nuevos conceptos, como es el de los alimentos funcionales (AF) y sus componentes bioactivos, que destacan la relación con las ECNT y que han llegado al conocimiento del consumidor. En gran medida, el surgimiento de este concepto radica en numerosos estudios epidemiológicos

que demuestran una menor incidencia de las ECNT asociados a la ingestión de dietas con un alto contenido de frutas y verduras (Ness y Powles 1997, Law y Morris 1998, Prior 2003, Hung y otros 2004, Erdman y otros 2007), lo que ha motivado a investigar las propiedades que hacen que estos alimentos puedan ejercer un efecto protector de la salud, expresado en una disminución del riesgo de desarrollar las patologías señaladas.

En la génesis de la mayoría de las ECNT hay un componente de estrés oxidativo, y el efecto protector de los alimentos de origen vegetal se atribuye principalmente a la presencia de diversos compuestos químicos con actividad antioxidante (Eastwood 1999). Sin embargo, cuando se ha relacionado el consumo de los nutrientes antioxidantes clásicos, como la vitamina C y el selenio, con la prevalencia de ECNT, no se han encontrado las relaciones esperadas y, en algunas ocasiones, se observa un efecto bastante limitado (Williamson y Manach 2005). Por otra parte, en las intervenciones dietéticas en las que se ha suplementado la dieta con nutrientes antioxidantes no se ha logrado evidenciar con claridad los efectos protectores, lo que sugiere que los beneficios del consumo de frutas y verduras pueden deberse a la acción combinada de los nutrientes con otros compuestos bioactivos que protegen de la oxidación (Halverson y otros 2002, Stahl y otros 2002, Hai Liu 2004).

Todos los productos de origen vegetal contienen, en mayor o menor medida, compuestos bioactivos que benefician la salud, ya sea en la forma de constituyentes de la fibra dietética, antioxidantes, quimiopreventivos u otros. Conociendo la composición química de los vegetales que forman parte de la dieta es posible aseverar que estos son saludables, como es el caso de tomates, uvas, paltas o aguacates, hortalizas, cereales, leguminosas, especias, frutos secos, entre tantos productos que constituyen parte habitual de nuestra alimentación. En consecuencia, es válida la pregunta: ¿hay una diferencia entre los alimentos saludables y los AF? O bien: ¿para qué necesitaríamos contar con AF? La ventaja de incorporarlos en la dieta es que contienen los compuestos bioactivos que normalmente se encuentran en los alimentos antes mencionados en cantidades tales que su consumo ocasiona un efecto beneficioso demostrable a través de pruebas bioquímicas y clínicas, en las cuales es posible poner en evidencia los cambios favorables en la salud del consumidor. Para ello, se miden los cambios producidos por la ingestión de los AF en biomarcadores de efecto, tales como el perfil lipídico del plasma, la capacidad antioxidante de plasma y tejidos, la inhibición del crecimiento de células tumorales, la mantención de la densidad de la masa ósea, entre muchos otros indicadores que permiten evidenciar los efectos de reducción de factores de riesgo de desarrollar ECNT.

Los AF generalmente son diseñados, formulados o producidos a base de diversas tecnologías. Por ejemplo, el desarrollo de variedades de tomates de alto contenido de licopenos versus el diseño de productos elaborados, como salsas o concentrados de tomates adicionados de licopenos. En ambas situaciones se tiene un AF, ya que el aporte de los carotenoides bioactivos denominados licopenos es mayor al que se obtiene del consumo de un alimento saludable, como es el tomate común. En estos casos, el efecto beneficioso de los AF debe ser evaluado, comprobado y reconocido o validado por la comunidad científica, para que los organismos reguladores de cada país, o grupos de países, acepten que estos productos se expendan utilizando en su rotulación y publicidad los denominados "mensajes o proclamas saludables" (*health claims*). Dichos mensajes, cuya normativa se analiza en el capítulo IX de este libro, dan a conocer al consumidor

la relación entre la ingestión de estos AF con la reducción del riesgo de desarrollar una o más enfermedades. En el ejemplo señalado, el tomate alto en licopenos y los alimentos enriquecidos en este compuesto bioactivo exhiben un efecto protector del desarrollo de cáncer de próstata y de mama en ensayos *in vitro* y en animales, pero aún no se acepta como validado este efecto a nivel de la población (Finley 2005).

Una forma interesante de aportar los compuestos bioactivos a través de la dieta es mediante AF que los contienen en cantidades que complementan la ingesta habitual, que generalmente es muy baja. Este es el caso de los ácidos grasos (AG) poliinsaturados omega-3 de cadena larga, como son el EPA (eicosapentaenoico, 20:5n-3) y el DHA (docosahexaenoico, 22:6n-3). Estos AG bioactivos, cuyo consumo representa claros efectos en la reducción del riesgo de ECNT, se encuentran en los alimentos de origen marino (algas, pescados, mariscos), cuyo consumo es generalmente bajo. En este caso, la oferta de AF que aportan cantidades importantes de EPA y DHA es una gran ventaja para incrementar su consumo. Cabe destacar que la eficiencia biológica de estos dos AG de cadena larga, muy insaturados, es mucho mayor que la que se obtiene al consumir el AG omega-3 esencial de origen vegetal  $\alpha$ -linolénico, que se encuentra en semillas como la linaza o lino, las nueces, la soja y otros aceites vegetales, cuya capacidad bioquímica para convertirse en los AG bioactivos EPA y DHA, que son los que ejercen el efecto saludable, es muy limitada. Por esta razón, es importante revisar cuál es la fuente de donde se obtienen estos compuestos, ya que su efecto biológico depende de ello.

## Alimentos funcionales (AF)

En la última fase del siglo XX, se inició en Japón la comercialización de alimentos especialmente formulados para cumplir con una función de salud. A estos alimentos se les categorizó como FOSHU (**Foods for Specified Health Uses**) y marcaron el inicio de una nueva era en la industria alimentaria: la era de los AF (Roberfroid 2000a). Este concepto ha sido acuñado para describir alimentos con ingredientes capaces de producir efectos saludables, cuya elaboración no sólo contempla su calidad nutricional, sensorial y tecnológica, sino que también aportan fitoquímicos u otros agentes bioactivos que contribuyen al bienestar del consumidor.

El concepto detrás del término es que su consumo está dirigido a mantener una condición de salud y/o reducir un riesgo de enfermedad, especialmente del tipo ECNT. No hace alusión a los nutrientes contenidos en el alimento, ya que es una condición al margen de su valor nutritivo, pero sí a su aporte de compuestos bioactivos cuyo consumo ejerce una demostrada acción beneficiosa al corto, mediano y/o largo plazo.

La base científica que avala el consumo de AF se construye sobre la búsqueda de los mecanismos a través de los cuales sus constituyentes bioactivos ejercen una acción sobre el bienestar y salud y/o la reducción del riesgo de enfermedades, lo cual hoy en día constituye una materia relevante a nivel global de investigación básica y aplicada. En diversos países se han generado redes de investigación en el tema, lo que se refleja, por ejemplo, en la página web [www.functionalfoodnet.org](http://www.functionalfoodnet.org), donde se informa de los proyectos de investigación, desarrollo e innovación en

los que participan países europeos en forma asociativa. Estas investigaciones, a su vez, se apoyan en la epidemiología y ensayos de tipo clínico, que pueden contribuir a demostrar si existe una asociación validada entre la ingestión o consumo de determinado AF o sus componentes sobre un beneficio saludable en particular. Otra evidencia de la importancia del tema la constituye el establecimiento de una línea dentro de la convocatoria del Séptimo Programa Marco del Parlamento Europeo (MP7), a la que se ha denominado “De la granja a la mesa: Alimentos, salud y bienestar”, que abarca no sólo aspectos relacionados con la producción de los alimentos, sino también otros de índole social, cultural, del comportamiento y del conocimiento, enfocados en el consumidor; así como también las enfermedades asociadas a trastornos alimentario–nutricionales, los beneficios para la salud derivados del consumo de ciertos productos, y los aspectos de innovación y tecnologías sustentables de procesamiento que mejoran la calidad y la seguridad, tanto química como biológica, de los alimentos y su inocuidad.

Algunas de las condiciones requeridas para que un alimento sea considerado funcional son:

- Que ocasione un beneficio en la salud del consumidor
- Que se demuestren los beneficios saludables obtenidos del consumo del AF
- Que exista una cantidad mínima definida de ingesta diaria para alcanzar el beneficio esperado
- Que una ingesta mayor a la necesaria para el efecto beneficioso no ocasione ningún efecto dañino
- Que se consuma en la dieta habitual como cualquier alimento tradicional
- Que indique en su rotulación la presencia del ingrediente bioactivo y la cantidad en que se encuentra
- Que exista una metodología analítica que permita identificar y cuantificar el agente bioactivo
- Que se puedan demostrar las propiedades saludables del AF luego de su consumo a través de biomarcadores de efecto.

Es muy importante recalcar que los AF deben consumirse como parte de una dieta habitual, y no en la forma de comprimidos, cápsulas u otras formas farmacéuticas que contengan los compuestos bioactivos, ya que estos productos son clasificados como “nutracéuticos”, cuya finalidad es aportar cantidades muy altas de los agentes bioactivos, generalmente con un objetivo terapéutico y no de mantención de salud y reducción de riesgos de enfermedades. En diversos países, los productos nutracéuticos se venden en farmacias, en tanto que los AF pueden comercializarse en cualquier tipo de sala de ventas de alimentos comunes.

## Biomarcadores de efectos biológicos

Uno de los problemas centrales en el desarrollo de los AF es la demostración de la acción beneficiosa de su consumo. Con este propósito, es necesario realizar estudios clínicos o poblacionales controlados acerca de la acción de los diferentes compuestos bioactivos integrados en el alimento, para lo cual es necesario disponer de biomarcadores que expresen su acción. El estudio de las propiedades beneficiosas de las sustancias bioactivas ingeridas representa un gran desafío a la investigación científica actual: es fundamental obtener evidencias experimentales que demuestren satisfactoriamente que estos compuestos ejercen acciones beneficiosas para el organismo que los ingiere, sobre todo si es como parte de la dieta, como es el caso de los AF. Para ello, se cuenta principalmente con experimentación *in vitro* e *in vivo*, en cultivos celulares y en animales, respectivamente, así como estudios de observación epidemiológica, y, lo que es muy importante, con estudios de intervención, basados en biomarcadores que pongan en evidencia los efectos ejercidos por los compuestos en estudio en las personas que los consumen.

Los biomarcadores tienen como objetivo central demostrar, en forma experimental, la relación entre dieta, salud o enfermedad y examinar la relación entre un determinado compuesto bioactivo que es ingerido e indicadores del estado de salud. Como los AF están destinados esencialmente a ser consumidos por personas sanas, resulta muy complejo distinguir los cambios de su situación de salud, y debe recurrirse a mediciones bioquímicas. Por ejemplo, si se desea evaluar el efecto beneficioso de cierto fitoquímico contra especies de oxígeno reactivas responsables de procesos de estrés oxidativo, pueden medirse respuestas como la producción de especies de oxígeno reactivas, la preservación de la estructura y función del ADN, la capacidad de oxidación de lipoproteínas circulantes, la generación de productos de oxidación como isoprostanos o malondialdehído, la actividad de algunas enzimas, entre otros múltiples bioensayos (Vattem y Shetty 2007). Estos bioensayos pueden ser muy difíciles de realizar, como es el caso de la evaluación del potencial efecto reductor del riesgo de carcinogénesis, debido a que el cáncer es, a su vez, una enfermedad muy compleja y multifactorial. En el caso de los fitoquímicos que actúan como quimiopreventivos, su acción puede ser ejercida en las etapas de inicio, promoción o progreso del proceso carcinogénico actuando como inmunomoduladores, modificando procesos de reparación de ADN, los sistemas de detoxificación, la expresión de múltiples genes, la formación de carcinógenos activos, la proliferación celular, la diferenciación celular, la capacidad de invasión y metástasis, entre otros mecanismos (Knasmüller y otros 2004). Ello refleja la alta complejidad al momento de establecer las metodologías que permiten determinar si los agentes en estudio realmente ejercen el efecto de reducción de riesgo esperado y sus mecanismos de acción.

Para intentar poner en evidencia la acción beneficiosa del consumo de AF se deben realizar estudios clínicos o poblacionales controlados acerca de la acción de los diferentes compuestos bioactivos integrados en el alimento, para lo cual es necesario disponer de biomarcadores adecuados que expresen su acción. La biodisponibilidad, que refleja la absorción intestinal de las moléculas bioactivas, es uno de los aspectos más relevantes a estudiar. En el caso de los fitoquímicos, es posible generalizar que la absorción intestinal es baja. Por ejemplo, los polifenoles, que son

los antioxidantes más abundantes en los alimentos, presentan absorciones menores que el 5% (Scalbert y Williamson 2000, Manach y otros 2005). Más aún, la biodisponibilidad de los compuestos bioactivos depende de numerosos factores (Scholz y Williamson 2007), entre los cuales destaca la edad (Chen y Blumberg 2008). Para evaluar la absorción y los efectos de los compuestos de interés se han desarrollado diversos biomarcadores; sin embargo, es un área en que hace falta bastante investigación para llegar a disponer de aquellos que expresen el rol saludable de los AF en el ser humano. La información publicada aún es insuficiente para disponer de criterios objetivos que permitan afirmar la acción beneficiosa de la mayor parte de estos alimentos.

Los biomarcadores se han clasificado de diversas formas, destacando entre ellas los que dan cuenta de la respuesta biológica frente a la exposición al componente en estudio (Roberfroid 2000b), y generalmente se pueden dividir entre los de exposición o los de efecto. La metodología más empleada para evaluar la biodisponibilidad consiste en determinar las concentraciones de los compuestos bioactivos o sus metabolitos en función del tiempo, recolectando muestras biológicas (generalmente sangre y orina) en las cuales éstos se miden. Sin embargo, estos biomarcadores reflejan sólo de manera indirecta lo que sucede a nivel de tejidos más específicos. Ejemplos típicos de estos biomarcadores son la medición de sus niveles plasmáticos o tisulares, o de efectos tales como cambios en la capacidad antioxidante del plasma. Los indicadores de efecto más específico evalúan alteraciones en las biomoléculas, como modificaciones en la estructura del ADN, determinación de grupos carbonilos en las proteínas, determinación de compuestos resultantes de la lipoperoxidación. También es posible evaluar biomarcadores de efecto funcional, por ejemplo las respuestas glicémicas e insulínicas, la función gastrointestinal, la presión sanguínea, entre otras, o bien marcadores de acciones tales como cambios en la capacidad de aprendizaje y memoria, a través de pruebas cognitivas. Un problema importante en la medición de los biomarcadores son los tiempos en que se determinan y qué compuestos se ensayan. Como ya se indicó, en el caso de los polifenoles una parte importante de estos compuestos ingeridos no es absorbida a nivel del intestino delgado, debido a su limitada biodisponibilidad. Al pasar al colon, son metabolizados por la flora microbiana, y desde allí los metabolitos generados pueden ser absorbidos y pasar a la sangre. En consecuencia, es necesario conocer cuáles son los metabolitos que derivan de la acción microbiana y el tiempo en que pasan a la sangre, proceso que puede tomar horas después de la ingesta del alimento que los contiene (Scalbert y otros 2005).

Un aspecto de gran interés es que los efectos de los compuestos bioactivos presentes en los vegetales se pueden potenciar entre sí o actuar en forma sinérgica, dando como resultado un efecto beneficioso incrementado al combinarlos. Este principio básico se está empleando en la actualidad en la búsqueda de un efecto más eficiente en términos de prevención de enfermedades. Por ejemplo, se ha observado que al combinar S-alilcisteína, un fitoquímico bioactivo del ajo, con licopeno, carotenoide característico del tomate, se obtiene un efecto antioxidante sinérgico que contribuye a proteger del desarrollo de cáncer gástrico inducido (Velmurugan y Nagini 2005). Cabe señalar también que, teniendo en consideración que los fitoquímicos pueden ejercer efectos no deseables, o incluso tóxicos, es indispensable someterlos a la evaluación de su inocuidad (Hasler y otros 2001). Este aspecto es bastante difícil de estudiar, debido a su complejidad y al costo que significa realizar

estudios de largo plazo en humanos. Por ello, la mayor parte de la evidencia experimental surge de estudios realizados *in vitro*, en animales o empleando biomarcadores específicos que puedan evidenciar una respuesta a corto plazo. Entre los ensayos más comúnmente empleados para estos fines destacan su capacidad prooxidante, su potencialidad mutagénica y/o su capacidad proliferativa celular. Ejemplos de estas posibles acciones negativas son las evidencias experimentales de que el consumo de algunos alimentos con alto contenido de fibra dietética puede ocasionar un aumento de la proliferación celular a nivel intestinal, la actividad mutagénica de algunos flavonoides, la formación de compuestos N-nitroso que son cancerígenos y que es inducida por fenoles y tiocianatos presentes en alimentos vegetales, la promoción de cáncer al páncreas por el Se, que paradójicamente y tomando en cuenta otros criterios, es considerado como un nutriente anticancerígeno. Aun cuando estos estudios no son numerosos ni concluyentes, muestran la exigencia de profundizar en ellos y encienden una alarma de precaución para el diseño de los AF (Murakami y otros 1998).

Una forma de validar los estudios de intervención que se realizan en sujetos que ingieren los alimentos evaluados es a través de meta-análisis, evaluando los resultados de cada uno de los estudios clínicos disponibles que cumplan con el requisito de haber sido realizados bajo una metodología adecuada. Sin embargo, los resultados de los meta-análisis también son discutibles, de acuerdo con la complejidad que representa aislar una sola variable frente a la ingestión de alimentos complejos en los que se encuentran presentes numerosos agentes bioactivos (Castro y otros 2005).

Por las razones expuestas, la evaluación de las propiedades saludables de los compuestos bioactivos ingeridos es un tema complejo, que requiere del desarrollo de diseños experimentales cuidadosos que hacen uso de tecnologías analíticas complejas, que exigen equipamiento y condiciones adecuadas. Esta es la única forma de alcanzar los estándares que exige la certificación de las propiedades saludables de los AF. Ello involucra establecer cuáles son los biomarcadores más pertinentes para cada una de las propiedades saludables que se desea verificar, y diseñar las metodologías adecuadas para su medición y estandarización.

## Mensajes o proclamas saludables

El primer país que aplicó normas para la aprobación de AF fue Japón, a través de su Ministerio de Salud y Bienestar, y los productos aprobados como FOSHU pueden llevar un rótulo de aprobación ministerial. La principal dificultad al legislar sobre esta materia surge de la declaración de efectos beneficiosos para la salud que se pueden obtener del consumo de los AF (Shimizu 2002). Según el *Codex Alimentarius*, "Proclama Alimentaria" (lo que en algunos países se conoce como "Mensaje Saludable") es cualquier afirmación o representación que afirma, sugiere o implica que un alimento tiene ciertas características relacionadas con su origen, propiedades nutricionales, naturaleza, producción, procesamiento, composición o cualquier otra cualidad (Diplock y otros 1999).

En Europa, ILSI (*International Life Sciences Institute*), conjuntamente con la Unión Europea, han establecido una red multidisciplinaria abocada al estudio de los beneficios para la salud de los

AF, a través del proyecto FUFOSÉ, iniciado en 1995, que ha dado origen a diversas publicaciones sobre el tema. Como se describe en el capítulo IX, la regulación europea sobre estos alimentos entró recientemente en vigencia, ya que se aprobó en Bruselas en diciembre de 2006. ILSI también ha establecido definiciones válidas en Norteamérica (1999), aun cuando en los Estados Unidos la definición de las proclamas que entrega la FDA (*Food and Drug Administration*) es más laxa: es cualquier información que, de forma expresa o implícita, caracteriza la relación entre una sustancia y una enfermedad o una condición de salud (Milner 2002). Se considera que un alimento es un AF si demuestra satisfactoriamente que puede contribuir a fomentar un estado de salud y bienestar o reducir el riesgo de enfermar. Los atributos de los AF o sus constituyentes se comunican a través de mensajes saludables aprobados por la FDA, luego de la revisión exhaustiva de la información científica relativa al tema. Estos mensajes son textos destinados a ser puestos en la etiqueta del alimento, que relacionan de manera explícita o implícita a un AF o ingrediente de éste con una enfermedad o una condición relacionada con la salud. La regulación en relación con los AF está siendo constantemente revisada y modificada en la mayoría de los países, y constituye uno de los temas de mayor dinamismo en los organismos regulatorios y en la industria alimentaria.

## Tendencias del mercado

Podría decirse que la existencia de los AF está documentada desde el año 1000 a. C. en China, con una larga tradición de empleo de alimentos y productos vegetales en prevención y curación de enfermedades. Sin embargo, fue sólo alrededor de veinte años atrás que en Japón se desarrolló el concepto de alimentos para uso saludable específico, a partir de lo cual se ha ido incorporando el término de AF en las legislaciones y normativas de alimentos y la tendencia actual de los consumidores es la demanda de productos que ofrecen beneficios adicionales para la salud, en todas las etapas de la vida. Actualmente se reconoce que en este mercado existe una necesidad insatisfecha: los consumidores esperan AF que beneficien el cuidado de su salud, diseñados para cumplir funciones específicas en la prevención de enfermedades y que contribuyan a satisfacer las necesidades de consumo de una población que está adoptando hábitos de vida cada vez más saludables.

La popularidad de los AF sigue creciendo, lo que se advierte a partir de la tendencia de las grandes empresas alimentarias a nivel mundial. Una investigación realizada por el grupo Hartman (2007) mostró que los consumidores de más edad prefieren buscar formas de evitar el consumo de más medicamentos a través de los alimentos, las bebidas y el ejercicio. Es así que en diversos países la tasa de crecimiento del mercado de los AF y productos nutracéuticos supera al de los alimentos tradicionales, siendo Japón el principal mercado a nivel mundial. La gran mayoría de los nuevos productos que se lanzan en el país tienen uno o más ingredientes saludables incorporados. En Europa, los principales AF comercializados (cerca del 65% del total) corresponden a la industria láctea, con probióticos y prebióticos. Para los europeos, el orden decreciente de importancia atribuido a estos alimentos en la prevención de enfermedades es: ECV, cáncer, obesidad, osteoporosis, del tracto intestinal, del sistema inmunológico. El mercado está siendo liderado por los AF que contienen antioxidantes y los probióticos.

La comercialización de AF generó por ventas globales, en 2005, una cifra superior a U\$ 73.500 millones, y la proyección para 2010 es superior a U\$ 167.000 millones ([www.researchandmarkets.com/reports](http://www.researchandmarkets.com/reports)). Las categorías de mayor crecimiento son los lácteos y los productos de panadería, con un valor de mercado de estos últimos cercano a U\$ 37.000 millones por año. Los productores de AF han invertido fuertemente en este sector, creando un mercado que pretende cubrir el 5% del valor de ventas de alimentos en el mundo. La cantidad de AF lanzados al mercado en el período de enero a abril de 2005 se estimó por encima de 200, aunque luego que se encuentran en el mercado no hay un monitoreo de su uso y los beneficios al consumidor (de Jong y otros 2007). En general, su consumo está en franco aumento en los distintos países, y el valor alcanzado en los mercados norteamericano y europeo en 2006 es de U\$ 21.300 millones y U\$ 8.000 millones, respectivamente (Informe Especial 2007).

Un estudio realizado por Euromonitor (Motta 2007) muestra que en trece países de Latinoamérica las categorías de alimentos de mayor incremento de comercialización fueron, entre 1998 y 2006, las barras de cereales (25,3%), pastas secas (12,8%), comidas listas (6,8%), sustitutos de comidas (***meal replacement products***) (5,4%) y procesados congelados (4,4%). En cuanto a las bebidas, las funcionales y los téis listos para consumir subieron por sobre las gaseosas y los refrescos, con un 96% y 190% de volumen de crecimiento, respectivamente. Los autores del informe atribuyen esta observación a tres cualidades de estos alimentos: portabilidad, conveniencia y propiedades saludables o funcionales. Entre los productos más vendidos están los alimentos que contienen cereales integrales y fibra dietética y los productos lácteos y probióticos.

Entre los compuestos químicos bioactivos cuyas propiedades saludables han sido evaluadas, se encuentran péptidos y aminoácidos, AG, gliceroles, fitoestanoles, fitoesteroles, almidones resistentes, oligosacáridos no digeribles, polisacáridos distintos al almidón, elementos de la fibra dietética soluble e insoluble y numerosos fitoquímicos, tales como polifenoles, carotenoides, isoflavonas, lignanos, terpenos, tioles, entre otros. Uno de los ingredientes que despierta mayor interés en el mercado de los AF es, sin duda, la fibra dietética, cuyas ventas se han incrementado notablemente desde que, en 2005, el gobierno de los Estados Unidos recomendara a la población incrementar el consumo de cereales integrales. Esta tendencia se asocia a la del consumo de CHO de digestión lenta, una forma de controlar la producción de glucosa, cuyo efecto beneficioso resulta más efectivo que el consumo de alimentos bajos en CHO. Este efecto se mide a través de la respuesta glicémica o índice glicémico de los alimentos (véase capítulo II), tema que los consumidores de algunos países ya han aprendido e incorporado en su lenguaje y buscan la información correspondiente en los alimentos que escogen. En general, el concepto más reconocido por los consumidores es el de "alto en fibra". Ello ha llevado a los industriales a manufacturar nuevos productos con esta característica, que van desde panes a barras de cereales, e incluso bebidas. El mercado de la fibra dietética como ingrediente, sólo en los Estados Unidos, fue de U\$ 200 millones en 2004 y se estima que se duplique en 2011 (Starling 2007). Otro ámbito creciente en el mercado es el de los alimentos libres de gluten: en los últimos años han surgido muchos productos horneados elaborados con harinas de maíz, arroz, papas, soja y otros (véanse capítulos V y VIII).

La tendencia creciente en el desarrollo de AF se mantiene. Actualmente hay mucha inversión en investigación, desarrollo e innovación en el ámbito de las frutas como fuentes de agentes bioactivos, en todas sus formas de consumo, y las grandes compañías están abocadas a la creación de las denominadas "superfrutas" ([www.superfruits.org](http://www.superfruits.org)), ricas en compuestos fitoquímicos bioactivos saludables para el consumidor, que refleja la tendencia de la industria alimentaria hacia la oferta de alimentos "BFY" (*better for you*) (Heller 2007).

Los productos de panificación y horneados en general representan una buena alternativa para elaborar AF. Por un lado, porque ellos forman parte importante de las dietas iberoamericanas en forma tradicional, por lo que su consumo no requiere de cambios en los hábitos alimentarios y, por otro, debido a que la tecnología actual permite sacar el mayor provecho de sus constituyentes saludables e incorporar en los productos agentes bioactivos de variadas propiedades físicas y químicas y diferentes efectos biológicos. Lo más explorado en este tipo de alimentos es la incorporación de diversas fuentes de fibra dietética soluble e insoluble. Los consumidores saben reconocer un producto de panificación alto en fibra y el término "integral" ya está incorporado en el lenguaje cotidiano. Sin embargo, hay muchas alternativas poco exploradas en este vasto ámbito de alimentos, en los que es posible considerar la incorporación de numerosas variedades de harinas de distintos cereales con grados de extracción variables, así como también otros ingredientes tales como harinas de leguminosas o frutos frescos o secos, semillas o extractos obtenidos de otros alimentos y que se pueden incorporar para incrementar su valor saludable o dar un carácter funcional, como es el caso de polifenoles, prebióticos, ácidos grasos omega-3, fitoestrógenos, entre otros (véanse capítulos VII, VIII) . Entre las innovaciones recientes en este ámbito se incluye, por ejemplo, el consumo por parte de madres que amamantan de galletas que contienen ácido linoleico conjugado (CLA) en su formulación, para que este compuesto bioactivo sea transferido al recién nacido a través de la leche materna (Moutsoulis y otros 2008), o el consumo de productos de bollería que contienen cafeína microencapsulada para provocar un mejoramiento de la memoria y el rendimiento en estudiantes (Halliday 2008).

La comercialización de los AF debe hacerse en forma éticamente responsable (Lang 2007), sin descuidar la educación y entrega de información validada al consumidor para que su elección de AF, que tienen un costo superior a los alimentos comunes, sea debidamente fundamentada.

## Referencias

- Castro IA, Barroso LP, Sinnecker P. 2005. Functional foods for coronary heart disease risk reduction: a meta-analysis using a multivariate approach. *Am J Clin Nutr*, 82: 32-40.
- Chen CYO, Blumberg JB. 2008. Are there age-related changes in flavonoid bioavailability? En: *Phytochemicals, Aging and Health*. MS Meskin, WR Bidlack, RK Randolph, editores. CRC Press, Boca Raton, Florida, pag 19-37.

- de Jong N, Verhagen H, Wolfs MCJ, Ocke MC, Klungel OH, Leufkens HGM. 2007. Functional foods: the case for closer evaluation. *Brit Med J*, 334: 1037-1039.
- Diplock AT, Aggett PJ, Ashwell M, Borneo F, Fern EB, Roberfroid M. 1999. Scientific concepts of functional foods in Europe: Consensus Document. *Brit J Nutr*, 81: S1S27.
- Eastwood MA. 1999. Interaction of dietary antioxidants in vivo: how fruit and vegetables prevent disease? *QJM*, 92: 527-530.
- Erdman JW, Balentine D, Arab L, Beecher G, Dwyer JT, Folts J, Hamly J, Hollman P, Keen CL, Mazza G, Messina M, Scalbert A, Vita J, Williamson G, Burrowes J. 2007. Flavonoids and heart health: Proceedings of the ILSI North America Flavonoids Workshop, May 31-June 1, 2005. Washington, DC. *J Nutr*, 137: 718S-737S.
- Finley JW. 2005. Proposed criteria for assessing the efficacy of cancer reduction by plant foods enriched in carotenoids, glucosinolates, polyphenols, and selenocompounds. *Annals Botany*, 95: 1075-1096.
- Hai Liu R. 2004. Potential synergy of phytochemicals in cancer prevention: mechanism of action. *J Nutr*, 134 : 3479S-3485S.
- Halliday J. 2008. Bakery products developed as caffeine carriers. [www.nutraingredients-usa.com/news/](http://www.nutraingredients-usa.com/news/) Consultado 30/07/2008.
- Halverson BL, Holte K, Myhrstad MCW, Barikmo I, Hvattum, E, Remberg SF, Wold AB, Haffner K, Baugero H, Andersen LF, Moskaug JO, Jacobs DR, Blomhoff R. 2002. A systematic screening of total antioxidants in dietary plants. *J Nutr*, 132: 461-471.
- Hartman Interactive Group, Informe Abril 2007.
- Hasler C, Moag-Stahlberg A, Webb D, Hudnall M. 2001. How to evaluate the safety, efficacy, and quality of functional foods and their ingredients. *J Am Diet Assoc*, 1001: 733-736.
- Heller L. 2007. Better for you foods top Mintel survey. [www.foodnavigator.com/](http://www.foodnavigator.com/) Consultado 30/07/2008.
- Hung HC, Josphipura KJ, Jiang R, Hu FB, Hunter D, Smith Warnes SA, Colditz GA, Rosner B, Spiegelman D, Willett WC. 2004. Fruit and vegetable intake and risk of major chronic diseases. *J Natl Cancer Inst*, 96: 1577-1584.
- Informe Especial: Alimentos Funcionales. 2007. Una tendencia que llegó para quedarse. Énfasis Alimentación Latinoamérica, 13: 6-7.
- International Life Sciences Institute. 1999. Safety assessment and potential health benefits of food components based on selected scientific criteria. ILSI North America Technical Committee on Food Components for Health Promotion. *Crit Rev Food Sci Nutrition*, 39: 203-316.
- Knasmüller S, Majer BJ, Buchmann C. 2004. Identifying antimutagenic constituents of food. En: *Functional foods, ageing and degenerative disease*. C Remacle, B Reusens, editores. CRC Press, Cambridge, pag 581-614.
- Lang T. 2007. Functional foods. Their long term impact and marketing need to be monitored. *Brit Med J*, 334: 1015-1016.
- Law MR, Morris JK. 1998. By how much does fruit and vegetable consumption reduce the risk of ischaemic heart disease? *Europ J Clin Nutr*, 52: 549-556.

- Manach C, Williamson G, Morand C, Scalbert A, Remesy C. 2005. Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. I. Review of 97 bioavailability studies. *Am J Clin Nutr*, 81 (suppl) : 230S-242S.
- Milner JA. 2002. Functional foods and health: a US perspective. *Brit J Nutr*, 88 (Suppl): S151-S158.
- Motta M. 2007. ¿Dónde estará Latinoamérica en 2011? *Énfasis Alimentación Latinoamérica*, 13: 97-100.
- Moutsoulis AA, Rule DC, Murrieta CM, Bauman DE, Lock AL, Barbano DM, Carey GB. 2008. Human breast milk enrichment in conjugated linoleic acid after consumption of a conjugated linoleic acid-rich food product: a pilot study. *Nutr Res*, 28: 437-442.
- Murakami A, Koshimizu K, Ohigashi H. 1998. Chemoprevention with food phytochemicals: screening, rodent studies, and action mechanisms. *J Med Food*, 1: 29-38.
- Ness A, Powles JW. 1997. Fruit and vegetables, and cardiovascular disease: a review. *Int J Epidemiol*, 26: 1-13.
- Organización Mundial de la Salud. 2004. Global Strategy on Diet, Physical Activity and Health. Doc. WHA57.17.
- Organización Mundial de la Salud. 2006. Informe sobre la Salud en el Mundo 2006. Colaboremos para la salud. Ginebra.
- Prior RL. 2003.** Fruits and vegetables in the prevention of cellular oxidative damage. *Am J Clin Nutr*, 78: 570S-578S.
- Roberfroid MB. 2000a. Defining functional foods. En: *Functional foods - Concept to product* GR Gibson, CM Williams, editores. CRC Press, Cambridge.
- Roberfroid MB. 2000b. A European consensus of scientific concepts of functional foods. *Nutrition*, 16: 689-691.
- Scalbert A, Williamson G. 2000. Dietary intake and bioavailability of polyphenols. *J Nutr*, 130: 2073S-2085S.
- Scalbert A, Johnson IT, Saltmarsh M. 2005. Polyphenols: antioxidants and beyond. *Am J Clin Nutr*, 81(suppl): 215S-217S.
- Scholz S, Williamson G. 2007. Interactions affecting the bioavailability of dietary polyphenols in vivo. *Int J Vitam Nutr Res*, 77: 224-235.
- Shimizu T. 2002. Newly established regulation in Japan: foods with health claims. *Asia Pacific J Clin Nutr*, 11 (suppl): S94-S96.
- Stahl W, van den Berg H, Arthur J, Bast A, Dainty J, Fauks RM, Gartner C, Haenen G, Hollman P, Host B, Kelly FJ, Polidori MG, Rice-Evans C, Southon S, van Vliet T, Vina-Ribes J, Williamson G, Astley SB. 2002. Bioavailability and metabolism. *Mol Aspects Med*, 23: 39-100.
- Starling S. 2007. Healthy foods: defining the category. Health Focus International, Enero.
- Vattem DA, Shetty K. 2007. Biochemical markers for antioxidant functionality. En: *Functional foods and biotechnology*. K Shetty, G Paliyath, AL Pometto, RE Levin, editores. CRC Taylor & Francis Group, Boca Raton, Florida, pag 229-251.

- Velmurugan B, Nagini S. 2005. Combination chemoprevention of experimental gastric carcinogenesis by s-allylcysteine and lycopene: modulatory effects on glutathione redox cycle antioxidants. *J Medicinal Food*, 8: 494-501.
- Williamson G, Manach C. 2005. Bioavailability and bioefficacy of polyphenols in humans. II. Review of 93 intervention studies. *Am J Clin Nutr*, 81 (suppl): 2435-2555.

## IV. Hidratos de carbono como ingredientes funcionales

Angela Zuleta

Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina

Héctor Araya

Universidad de Valparaíso y CREAS, Valparaíso, Chile

### Introducción

Hasta hace poco tiempo, las recomendaciones nutricionales centraban su interés en los lípidos y en las proteínas, mientras que se daba un tratamiento secundario a los hidratos de carbono (CHO). En la actualidad, las metas nutricionales de macronutrientes se dirigen no sólo a disminuir los riesgos de desnutrición, sino también los riesgos de desarrollo de enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) relacionadas con la alimentación. Por ejemplo, se sugiere moderar el consumo de grasas a un valor máximo de 30% de las calorías totales, mantener constantes las proteínas y, consecuentemente, aumentar las calorías derivadas de los CHO.

Los CHO constituyen la mayor proporción de macronutrientes de la dieta de la población mundial, con cifras que alcanzan alrededor de un 50% de la energía total ingerida en los países desarrollados y cerca del 70% en los países en desarrollo. Comprenden una amplia variedad de compuestos presentes en los alimentos, con diferente peso molecular (PM) y diversos grados de polimerización y estructuras. Integran a los azúcares simples —como los monosacáridos, disacáridos y polioles— oligosacáridos con un grado de polimerización entre 3 y 9 —como maltodextrinas, rafinosa, estaquiosa y verbascosa, presentes en los frijoles— y polisacáridos con grado de polimerización superior a 9 como el almidón, la celulosa, la hemicelulosa y los hidrocoloides.

*Tabla 1. Clasificación de hidratos de carbono de los alimentos. Fuente: FAO 1998.*

Clase	Sub-grupo	Componentes
Azúcares (GP 1-2)	Monosacáridos	Glucosa, galactosa, fructosa
	Disacáridos	Sacarosa, lactosa, maltosa
Oligosacáridos (GP 3-9)	Malto – oligosacáridos	Maltodextrinas
	Otros oligosacáridos	Rafinosa, estaquiosa, fructanos
Polisacáridos (GP > 9)	Almidón	Amilosa, amilopectina, almidones modificados
	No almidones	Celulosa, hemicelulosa, hidrocoloides

*GP: grado de polimerización.*

La importancia de los alimentos altos en CHO en la dieta tiende a aumentar, debido a que las recomendaciones actuales se basan en la necesidad de disminuir los factores de riesgo de ECNT, tales como las cardiovasculares, el cáncer y la obesidad. Está demostrado que una elevada ingesta de grasas incrementa el consumo de energía, por la dificultad del ser humano para regular la ingesta energética (Flatt 1996). Es evidente que la disminución de las grasas de la dieta conduce al aumento del consumo de CHO, ya que la concentración de proteínas se mantiene constante. En consecuencia, los alimentos altos en almidones adquieren una relevancia especial, debido a que contribuyen a cumplir las metas nutricionales vigentes, junto a otras recomendaciones más específicas, tales como disminuir el consumo de azúcares simples y aumentar el de fibra dietética (FD) (Stubbs y otros 2001).

En la reunión de expertos FAO/OMS sobre CHO en la nutrición humana se acordó que el consumo mínimo de CHO debe corresponder a un 55% de las calorías totales de la dieta, principalmente en la forma de CHO complejos, con bajo índice glicémico (IG) (FAO/WHO 1998). Esta recomendación se distancia del marco conceptual que consideraba a todos los CHO complejos como poseedores de propiedades fisiológicas similares.

## Fibra dietética y almidones en alimentos

La primera referencia sobre las propiedades de la FD, que se atribuye a Aretaeus de Capadocia (siglo II a.C.), relaciona las propiedades del trigo mezclado con leche y vino sobre el estómago. Hipócrates y Galeno, a su vez, relacionan el consumo de granos de cereales con la fisiología intestinal (estreñimiento), mientras Cleave, comandante cirujano de la marina inglesa, a partir de observaciones sobre las dietas altas en vegetales con bajo consumo de carne de ciertos aborígenes, postuló la existencia de una relación inversa entre el consumo de vegetales y las enfermedades metabólicas o degenerativas (Dreher 2001).

La FD se define, en 1953, como "CHO no disponibles presentes en los alimentos procedentes de las plantas, que carecen de valor nutricional" (De Vries 1999). En 1975, Trowell postula la "hipótesis de la FD", que señala que las dietas ricas en componentes de la pared celular vegetal, en un estado relativamente natural, tienen una acción protectora contra enfermedades que son prevalentes en la sociedad occidental. Con posterioridad (Trowell y Burkitt 1986) se señala a la FD como "polisacáridos vegetales y lignina, que no son digeribles en el tracto gastrointestinal humano, debido a la ausencia de enzimas específicas o a la incapacidad de las enzimas presentes para completar la digestión, a pesar de los cambios en su estructura física y/o química". Más tarde, los autores afirman que esta característica está presente en polisacáridos, oligosacáridos, lignina y otros productos (Trowell y otros 1976). La principal fuente de FD son las paredes celulares de los vegetales (Theander y Westerlund 1986), cuya composición es muy variable en diferentes plantas y, aun dentro del mismo vegetal, depende de la parte y el grado de maduración del tejido. La composición química de la FD abarca celulosa, hemicelulosas, pectinas, mucilagos, gomas, polisacáridos de algas, lignina. Todos estos compuestos son polímeros de glucosa, excepto la

lignina, que es un polímero de fenilpropano. A su vez, estos componentes se subdividen en base a su solubilidad en agua, de modo que la FD se clasifica en soluble e insoluble.

*Tabla 2. Composición química de la fibra dietética*

*Adaptado de: Asp y Johansson 1984*

<b>FIBRA TOTAL</b>	<b>Polisacáridos no Almidón (NSP)</b>	<b>Polisacáridos no Celulósicos (NCP)</b>	<b>Otros polisacáridos</b>	<b>Fibra Soluble</b>	<b>Otros azúcares</b>
			<b>Pectina</b>		<b>Ácidos urónicos</b>
					<b>Ramnosa</b>
		<b>Hemicelulosa</b>	<b>Arabinosa</b>		
			<b>Xilosa</b>		
			<b>Manosa</b>		
	<b>Lignina</b>	<b>Celulosa</b>	<b>Celulosa</b>	<b>Fibra insoluble</b>	<b>Galactosa</b>
		<b>Lignina</b>	<b>Lignina</b>		<b>Glucosa</b>
					<b>Lignina</b>
	<b>Almidón resistente</b>				

Entre los efectos beneficiosos producidos por la ingestión de FD a nivel intestinal se incluye el aumento de volumen de las heces, la reducción del tiempo de tránsito y el aumento de la motilidad. El aumento de peso fecal es variable, de acuerdo con su fuente u origen, y se ha establecido el orden decreciente de actividad de la siguiente forma: salvado de trigo > frutas y verduras > celulosa aislada > pectina. El salvado de trigo es más efectivo cuanto mayor es el tamaño de sus partículas, debido a que al conservar su estructura retiene agua, por lo que genera heces más blandas y acelera el tránsito intestinal (Gibson y otros 1990). Además, al aumentar el volumen fecal y, consecuentemente, el diámetro del colon sin aumentar la tensión intrínseca de su pared, reduce la presión necesaria para la propulsión de las heces, previniendo la formación de divertículos. Esta propiedad llevó a su empleo en el tratamiento del síndrome de intestino irritable, constipación y diverticulosis (Chao y otros 1998), que fue la primera patología en la cual se observó su efecto terapéutico.

La mayor parte de los polisacáridos que integran la FD, junto con una pequeña proporción del almidón, transitan por el intestino delgado sin ser degradados, en tanto que a nivel del colon pueden ser metabolizados por las bacterias y ejercer diversos efectos fisiológicos. La microflora del intestino humano contiene de  $10^{10}$  a  $10^{11}$  microorganismos/g de heces, en su mayoría anaerobias y sacarolíticas, y su composición depende de las características individuales del intestino. Las fibras más fermentables son las solubles, que pueden producir el aumento de peso fecal debido, en parte, a un aumento en la excreción diaria de masa bacteriana. La FD de zanahorias, arvejas

(guisantes) y repollo se digiere en un 80% a 93%, mientras que el salvado de trigo fermenta entre 30% y 50% y la celulosa alcanza al 6% (Nordgaard y otros 1995a).

Otros efectos beneficiosos relacionados con la fermentación de la FD incluyen:

- Favorecer la resistencia a la colonización por bacterias y virus patógenos, por competencia con una abundante flora normal donde prevalecen las bacterias lácticas (Goñi 2005).
- Ejercer un efecto protector sobre el colon, a través de una acción de dilución del contenido luminal, lo que disminuye el riesgo asociado con la presencia de carcinógenos.
- Generación de ácidos grasos (AG) protectores como el butírico.
- Acidificación del contenido del colon.
- Disminución de la generación de potenciales agentes promotores de tumores (*American Gastroenterological Association* 2000).

Un contenido intestinal más ácido reduce la acción de bacterias putrefactivas, productoras de amonio y nitrosaminas potencialmente tóxicas. Además, el butirato es un sustrato de los colonocitos, lo que contribuye a mantener la integridad de la mucosa. El acetato y el propionato son AG de cadena corta que atraviesan la pared intestinal, dirigiéndose por vía sanguínea al hígado y tejidos periféricos (Goñi 2001). La disminución del pH del contenido intestinal y la concentración de ácidos biliares secundarios (deoxicólico, litocólico) se relaciona con un menor riesgo de cáncer colorectal (Kritchevsky 1995).

Se ha observado que los alimentos altos en FD soluble, tales como avena, cebada, centeno, soja, porotos y lentejas, reducen la hiperglicemia e insulinemia postprandial. Gracias a esta propiedad, estos pueden ayudar a mejorar el control de pacientes diabéticos, debido a que la mayor parte de la FD soluble retarda el tiempo de vaciado gástrico. Estos alimentos tienen una velocidad de digestión más lenta, especialmente por la acción de los componentes solubles en agua (Bjorck y otros 1994). Además, la viscosidad dificulta la difusión de los nutrientes hacia el epitelio intestinal, al resistir los efectos de las contracciones intestinales sobre el mezclado y propulsión del contenido luminal, retardando su absorción (Jenkins 1978, Meier y Gassull 2004).

Para estudiar la relación causa-efecto de la FD sobre la glicemia, es importante considerar el almidón, cuya velocidad de digestión es afectada por las características inherentes y adquiridas de los alimentos. Entre las primeras se destaca la matriz física, que influye sobre la accesibilidad de las enzimas digestivas, ya que una matriz más rígida e íntegra disminuye su velocidad de digestión. La proporción de amilosa y amilopectina es un factor decisivo sobre la digestibilidad: la molécula de amilosa es eminentemente lineal, lo que la hace más rígida y menos sensible a la acción de la amilasa; en cambio la amilopectina tiene una estructura ramificada que facilita la acción enzimática (Grandfelt y Bjork 1991). Cuanto mayor es el contenido de amilosa, con mayor dificultad gelatiniza el almidón y más susceptible es a la retrogradación (Colonna y Mercier 1985). Los almidones de maíz conocidos como altos en amilosa, poseen cantidades que llegan hasta el 70%-75% y se obtienen por técnicas genéticas. El contenido de amilopectina, en tanto, se encuentra alrededor del 75% en los **almidones** más comunes. Algunos están constituidos

exclusivamente por amilopectina, y son conocidos como almidones céreos o **waxy** (Bello-Pérez y otros 2006).

Los almidones se encuentran en alimentos que necesitan ser procesados, con excepción de la mayor parte de las frutas. Cuando se cuecen en agua, se altera la estructura semicristalina de los gránulos, dando lugar a la gelatinización, que es un proceso con una pérdida irreversible de la región cristalina que lo hace más sensible a la acción enzimática. Los gránulos no se disuelven durante el procesamiento, quedando como una dispersión. Por otra parte, en el proceso de extrusión se forman enlaces covalentes entre almidón y lípidos o proteínas, produciendo una disminución de la velocidad de digestión, aunque predomina la gelatinización. Las formas de consumo de alimentos que mantienen la integridad del almidón, por ejemplo granos enteros como maíz y leguminosas como frijol hacen más lenta la velocidad de digestión; en cambio, el consumo de alimentos refinados como arroz pulido, harina de trigo refinada y leguminosas en forma de harinas facilita una rápida digestión (Elliasson y Gudmundsson 1996). En los alimentos que se consumen en forma de harina es importante el tamaño de partículas, ya que el material más fino es el mejor digerido por las enzimas digestivas (Holt 1994).

Cuando se enfría un alimento cocido se produce la retrogradación, en que el almidón gelatinizado adopta una estructura semicristalina, diferente de la original, por la formación de enlaces intramoleculares. Una mayor cantidad de amilosa facilita esta reversión, disminuyendo la velocidad de digestión (Topping 2003). Englyst y otros (1992) proponen una clasificación del almidón basada en la respuesta glicémica que se obtiene luego de la hidrólisis:

- Rápidamente digerible (20 min), abundante en alimentos recién cocidos
- Lentamente digerible (120 min), abundante en cereales crudos molidos
- Almidón resistente (AR). A su vez, este se clasifica en tres tipos:
  - Tipo 1 o AR1: atrapado físicamente dentro de estructuras como las paredes celulares vegetales, que lo hace inaccesible a las enzimas intestinales. Se presenta en los granos de cereales parcialmente molidos y en las leguminosas.
  - Tipo 2 o AR2: cristalizado, no puede ser atacado enzimáticamente si no gelatiniza previamente. Se presenta en las papas crudas, el plátano verde y la harina de maíz.
  - Tipo 3, retrogradado o AR3: cambia su conformación ante fenómenos físicos como el calor y el frío, lo que produce su resistencia a la degradación enzimática intestinal. Se suele presentar en alimentos feculentos tras la cocción y posterior enfriamiento, como el pan, los copos de cereales y las papas cocidas y enfriadas (Englyst y otros 1992). Su contenido aumenta cuando los alimentos se someten a ciclos de calentamiento y enfriamiento (Topping 2003).

Algunos autores agregan a esta lista el Tipo 4 (Brown 2004): almidón modificado químicamente —por acción de ácidos, dextrinización enzimática, acetilación, hidroxietilación—. Llegan intactos al intestino grueso, por lo que son considerados parte de la FD. Si bien el AR forma parte de la fibra insoluble, sus efectos se asemejan a los de la fibra soluble.

Los procesos tecnológicos utilizados en la elaboración de productos que se disuelven rápidamente en agua y no requieren cocción aceleran la digestión de los almidones. La producción del *spaghetti* es un proceso que induce una digestión más lenta, debido a la estructura encapsulada y a la formación de enlaces con el gluten, factores que disminuyen la gelatinización (Grandfelt y Bjork 1991). En el arroz, la velocidad de digestión depende de las concentraciones de amilosa y de los procesos tecnológicos y culinarios que se apliquen. Por ejemplo, en el arroz parboiled y en el arroz graneado, en que se fríe en aceite previo a la cocción en agua, disminuye la velocidad de digestión (Araya y otros 1998). El almidón de los cereales crudos se digiere muy lentamente, por lo que se utiliza la cocción con agua para gelatinizarlo y permitir un mayor acceso a las amilasas intestinales. El almidón de papa crudo, que es indigerible por su estructura cristalográfica, se hace totalmente digerible por el mismo proceso. La alteración de la estructura del alimento por pulverización u otros procesos culinarios y la masticación también aumentan la digestión, al permitir el acceso a las enzimas digestivas. La digestión del almidón se hace más lenta por el amasado de las pastas, en las cuales se produce una red proteica que engloba a los gránulos, impide que absorban agua y retrasa la hidrólisis. Por otra parte, la cocción con poca agua, como en las galletitas, dificulta la gelatinización completa de los gránulos (León y otros 1998), por lo que también se retrasa la hidrólisis (Colonna y otros 1992).

Los almidones no gelatinizados provenientes de cereales híbridos con un alto contenido en amilosa, de 60% a 70%, son resistentes a la amilólisis (ejemplo: AR2) y se usan comercialmente como ingredientes de diversos alimentos procesados. Los productos obtenidos a partir de estos almidones por tratamientos físicos y enzimáticos conservan un alto contenido de AR y se emplean en alimentos sometidos a esterilización, horneado, entre otros (Sajilata y otros 2006). Algunos autores han producido almidones químicamente modificados con fosfatos di o polifuncionales (ejemplo: AR4), que pueden llegar a ser resistentes según el nivel de fósforo que tengan incorporado. Si bien estos se pueden emplear como aditivos espesantes, en cantidades generalmente de 0,5% a 2%, no se cuenta con datos clínicos que avalen su uso como ingrediente en reemplazo del almidón común (Brown 2004).

Todos los alimentos que contienen almidones presentan una proporción de velocidad de digestión rápida y lenta, aunque no todos contienen AR. Por otra parte, algunos disponen de glucosa libre que, al ser sumada a los almidones de digestión rápida, constituyen el indicador llamado "glucosa rápidamente disponible" (Englyst y otros 1999). Por consiguiente, se habla de alimentos de digestión rápida o lenta cuando se caracterizan por presentar la mayor proporción de sus almidones en esa categoría. Si la distribución es homogénea, se clasifican como de velocidad intermedia.

## Biomarcadores de efecto fisiológico

Con la introducción de los alimentos funcionales, destinados a mejorar la calidad saludable de una dieta (véase capítulo III), los biomarcadores han adquirido una gran importancia, debido a que son las herramientas que permiten conocer si el mensaje saludable que está ligado a su comercialización no produce engaños en el consumidor (Araya y Lutz 2003).

1. Índice glicémico (IG): es un biomarcador que cuantifica en forma estandarizada la respuesta glicémica, cuya metodología se describe en el capítulo II. En la tabla 3 se describen valores de IG de preparaciones de consumo habitual en Chile, determinados en hombres jóvenes y sanos.

*Tabla 3. Índice glicémico (IG) de preparaciones consumidas en Chile.*

*Fuente: Araya y otros 2002*

Preparaciones	IG
Arroz – carne molida	31,4 ± 28,4
Tallarines – salsa	42,0 ± 23,4
Sopa de lentejas	49,3 ± 29,5
Porotos – tallarines	76,8 ± 43,4
Puré papas – carne molida	51,0 ± 29,2

*Promedio ± DE.*

2. Índice insulinémico: es la relación porcentual entre el área bajo la curva de la respuesta insulinémica de un alimento ensayado y la obtenida por uno estándar, en el mismo individuo, pero en días diferentes. Se determina otorgando 50 g de CHO disponibles, tanto del alimento estándar, glucosa o pan blanco, como del producto a estudiar. Este indicador cuantifica en forma estandarizada la respuesta insulinémica.
3. Carga glicémica: tanto la cantidad como la calidad de los CHO se relacionan con la respuesta glicémica e insulinémica. Por definición, el IG compara la respuesta glicémica de un alimento estándar con uno en ensayo en igual cantidad de CHO, por lo que entrega una medición de su calidad, pero no del efecto de la cantidad. La carga glicémica cuantifica el efecto glicémico de los CHO disponibles en una porción de alimento, multiplicando la cantidad de CHO presentes en la porción por su IG. Se espera que las cargas glicémicas más altas provoquen las mayores elevaciones de glicemia y efecto insulinogénico. El consumo a largo plazo de dietas con carga glicémica alta se asocian con riesgo de diabetes tipo 2, obesidad y enfermedad coronaria (Hu y otros 2006).

Los CHO absorbidos a nivel intestinal inducen una respuesta hormonal inmediata: elevan la insulinemia, regulan los niveles de glicemia y la oxidación de los CHO. Una respuesta de insulina alta no se considera deseable, ya que se asocia con resistencia insulínica y ECNT (De Fronzo y otros 1991, Parillo y Riccardi 2004). Los alimentos de rápida absorción, como las dextrinas de bajo PM, la maltosa, la sacarosa, el puré de papas y el pan blanco, que presentan una rápida digestión de sus almidones, producen respuestas glicémicas e insulinémicas elevadas (Englyst y otros 1996, Roberts 2000, Araya y otros 2002). Posteriormente se observa un rápido descenso de ambos parámetros sanguíneos, que lleva los valores a niveles más bajos que los basales (Ludwig 2000).

Velocidad de digestión *in vitro*: corresponde a aquella con que los almidones disponibles se hidrolizan por la acción de las enzimas digestivas (amilasa y amiloglucosidasa), en una incubación que simula la digestión *in vivo*. A los 20 min se mide la glucosa liberada de los almidones de digestión rápida, a los 120 min los de digestión lenta y permanece un remanente, que pasado este tiempo, no se hidroliza. De ahí su nombre de "almidón resistente" (Englyst y otros 1992). Además de las fracciones señaladas, se encuentra una pequeña proporción de almidón de digestión muy lenta, que se hidroliza después de los 120 min (Araya y otros 1998).

Los métodos *in vitro* se desarrollaron con el propósito de tener procedimientos rápidos y de bajo costo, en comparación al tiempo y costo de la determinación de las respuestas glicémicas e insulinémicas en humanos. La condición esencial es que los resultados se correlacionen con las respuestas biológicas, teniendo como fundamento la relación directa que tiene la digestión de los CHO sobre los niveles de glicemia e insulinemia. Se han desarrollado diversos estudios en este tema que arrojan resultados contradictorios (Urooj y otros 2000). Sin embargo, algunos muestran una correlación significativa entre los resultados *in vitro* y los valores de IG e índice insulinémico (Engyst y otros 1999, Leinonen y otros 1999). En Chile, Araya y otros (2002) correlacionaron diferentes parámetros derivados de la aplicación del método de Englyst (Englyst y otros 1992) con los IG de las preparaciones, obteniendo las mejores correlaciones con el porcentaje de hidrólisis a los 20 min y con la relación entre los porcentajes de hidrólisis entre los 20 y 120 min.

Algunos autores consideran que la disminución de la glicemia provocada por el AR se debe a una reducción de la carga glicémica, ya que no modifica la absorción del almidón digerible como lo hacen las fibras solubles viscosas (Kendall 2004). En las estrategias alimentarias destinadas a la disminución del riesgo de ECNT, los CHO complejos se consideran beneficiosos, debido a que son hidrolizados y absorbidos más lentamente que los CHO simples.

Los indicadores descritos contribuyen a llevar a la práctica las metas nutricionales de la región latinoamericana, donde ocurre la paradoja de la coexistencia de problemas de desnutrición y de ECNT relacionados con un consumo excesivo de energía. En consecuencia, los productos altos en CHO complejos y bajos en grasas, como los cereales, se ubican en la base de la pirámide alimentaria, modelo propuesto para cumplir con las metas nutricionales, por lo que se recomienda un consumo mayor en relación con los alimentos ubicados en los niveles más altos y estrechos de la pirámide (Urteaga y otros 2001). Sin embargo, los productos altos en almidones presentan un efecto variado sobre la glicemia e insulinemia, que son las respuestas fisiológicas más directas e importantes para la salud. En la cadena de producción, industrialización, distribución y preparación culinaria, las manipulaciones modifican la estructura de los productos antes de llegar a la boca del consumidor, condicionando la textura, viscosidad y consistencia de las preparaciones (Bjorck y otros 1994, Gustafsson y otros 1995).

*Tabla 4. Velocidad de digestión de almidones disponibles en alimentos procesados  
Fuente: Araya y otros 1998.*

Alimento	Velocidad de digestión de carbohidratos (%)		
	Digestión rápida	Digestión lenta	Digestión muy lenta y resistente
Arroz graneado	25,2	28,2	46,6
Arroz cocido	30,2	30,2	39,6
Fideos sopa	31,0	39,2	29,8
Tallarines	26,4	27,2	46,4
Papas cocidas	78,5	21,5	0,0
Papas cocidas + aceite	50,0	50,0	0,0
Papas fritas	27,6	18,9	53,5
Puré instantáneo	48,3	51,7	0,0
Cereales de desayuno	70,5	24,1	5,4
Lenteja en grano	46,7	34,2	19,1
Harina cruda de lenteja	21,0	22,2	56,8
Harina cocida de lenteja	51,4	31,4	17,2

## CHO complejos y consumo de energía

¿Son todos los alimentos altos en CHO igualmente saciadores? Una de las áreas de investigación que aporta información para la resolución de este interrogante es la que estudia el efecto del consumo de CHO sobre la regulación energética, en comparación con la ingesta de proteínas y grasas. Al variar los aportes de CHO y grasas de la dieta se modifica la densidad energética (DE) (véase capítulo II), característica que actúa directamente sobre el consumo de energía (Bell y otros 1998). Los CHO simples y las maltodextrinas producen un incremento de la saciedad en un muy corto plazo, una hora después de su consumo; en cambio, los almidones de digestión lenta aumentan la saciedad 3 ó 4 horas después de la comida de ensayo (Anderson y otros 2002). Al comparar con las proteínas, estas muestran un efecto más saciador (Anderson y Moore 2004). Antecedentes recientes sugieren la posibilidad de regular el consumo energético no sólo a través de privilegiar los alimentos altos en CHO, sino a través de seleccionar el tipo de CHO y evaluar su efecto sobre la saciedad, enfoque que abre un campo de interés conceptual y aplicado de importancia para la alimentación de las poblaciones.

En adolescentes obesos se demostró que dietas con 3 niveles de IG produjeron diferentes ingestas energéticas, siendo significativamente menores las correspondientes a la dieta con bajo IG. En consecuencia, los CHO no sólo ejercen su acción sobre la saciedad a corto plazo, sino que también se expresa sobre el consumo en tiempos más largos (Ludwig y otros 1999). Un estudio de corto plazo demostró que una comida alta en CHO y baja en grasas produjo, a las 4 horas, un

mayor efecto saciador (Foltin y otros 1990). En otro estudio se suplementó un desayuno estándar con grasas o CHO y se determinó la sensación de apetito, ingesta de *snacks* a media mañana y consumo energético del almuerzo (Green y otros 2000). El suplemento de CHO redujo la sensación de apetito y el consumo de *snacks*; sin embargo, no afectó la energía contenida en el almuerzo, demostrando que el suplemento de CHO produjo una acción de corto plazo, que corresponde a la maltodextrina de digestión y absorción rápida. Los trabajos descritos muestran que los CHO tienen un mayor efecto saciador que las grasas, independientemente del tipo utilizado. Los mecanismos fisiológicos que explican este mayor poder saciador no están claros, aunque existe la tendencia a relacionar a los alimentos de bajo IG con una mayor capacidad saciadora (Ludwig 2000).

El efecto de la FD sobre la utilización de la energía de la dieta, que se relaciona con la promoción de la expresión del apetito y la saciedad, condiciona la cantidad de energía consumida. Estos procesos fisiológicos resultan de la interacción de factores de diferente índole: genéticos, culturales y biológicos. Los CHO pueden influir sobre la ingesta de alimentos a través del sabor, el tiempo de masticación, la distensión estomacal, la digestibilidad, la velocidad de absorción, los cambios hormonales y las señales metabólicas que indican su utilización por diferentes tejidos (Rolls 1997).

Por otra parte, no existe aún un consenso sobre el valor calórico de la FD: en la actualidad se considera que no aporta energía, pero se plantea que algunas fibras fermentables aportan entre 1 y 2 kcal/g, a partir de los AG de cadena corta producidos por la fermentación (Livesey 2001). Al elaborar una dieta equilibrada, con una proporción adecuada de FD, se debe tener en cuenta que no sólo los cereales son ricos en ella. La FD de las frutas tiene una composición más equilibrada que la que contienen los cereales, con mayor proporción de fibra soluble, por lo que es más capaz de retener agua.

## Oligosacáridos con propiedades saludables

El avance de los estudios sobre las propiedades y nuevas fuentes de FD se ha visto favorecido por el avance en el desarrollo de metodologías analíticas que permiten determinar compuestos indigeribles. Las dextrinas resistentes son productos relacionados con el AR que se obtienen tratando el almidón con calor y ácido, seguidos de un proceso enzimático. La polidextrosa es otro compuesto que, al no ser hidrolizado en el intestino delgado, puede formar parte de la FD. Es obtenida por polimerización térmica de la glucosa con ácido cítrico como catalizador y sorbitol como plastificante. Se usa como agente de volumen y humectante en formulaciones en las que se eliminan o reemplazan las grasas y el azúcar. Los oligosacáridos no digeribles, en tanto, son compuestos de bajo PM, entre 3 y 9 unidades, que poseen uniones resistentes a la hidrólisis de enzimas del tracto digestivo humano, por lo que son consideradas parte de la FD desde el punto de vista fisiológico, pero al no ser cuantificadas por los métodos tradicionales de análisis, no se las incluía en la definición. Actualmente, la evidencia indica que se ubican dentro de esta fracción (AACC 2001).

Entre los oligosacáridos de interés destacan:

- Galacto-oligosacáridos o transgalacto-oligosacáridos sintéticos: se obtienen a partir de lactosa por transglucosilación mediante la  $\beta$ -galactosidasa.
- Galacto-oligosacáridos de la soja y otras leguminosas: comprenden a la rafinosa (DP3), la estaquiosa (DP4) y la verbascosa (DP5). Se obtienen del suero en el proceso de aislamiento de la proteína de soja. Son  $\alpha$ -galacto-oligosacáridos que, debido a que el intestino humano carece de  $\alpha$ -galactosidasas, resisten la hidrólisis y llegan al colon.
- Fructanos: se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza en plantas, algas, bacterias y hongos. Su conocimiento ha sido escaso, debido a la dificultad de su determinación analítica. En los vegetales se almacenan como CHO de reserva en distintos órganos como hojas, raíces, tubérculos, rizomas y frutos. A los fructanos se les adjudican otras funciones, además de las de reserva, frente al predominio del almidón, que cumple ese objetivo en un mayor número de especies. Se ha sugerido que contribuyen a la estabilidad de proteínas y membranas durante el proceso de desecación, reemplazando la capa de hidratación. Esta función puede estar relacionada con la flexibilidad estructural que poseen los fructanos, que los hace únicos entre todos los polisacáridos (Pontis, 1985).
- Inulina y fructo-oligosacáridos (FOS): son los fructanos más estudiados desde el punto de vista nutricional y tecnológico. Ambos se diferencian por el grado de polimerización de las mezclas de polímeros que contienen, que es entre 2 y 60 para la inulina y entre 2 y 10 para los FOS. Están formados por una molécula de sacarosa a la que se unen sucesivas moléculas de fructosa por enlaces  $\beta$  2 $\rightarrow$ 1 ó  $\beta$  2 $\rightarrow$ 6, resistentes a la hidrólisis de enzimas del tracto digestivo humano, llegando intactos al colon. De este modo, los fructanos son considerados parte de la FD (Prosky 1999, AACC 2001). Industrialmente, la inulina se extrae en agua caliente de la raíz de la achicoria (*Cichorium intybus*) y los FOS se obtienen por hidrólisis de la inulina mediante una endoinulinasa o por síntesis a partir de sacarosa, por medio de la fructosiltransferasa de origen fúngico (Roberfroid y otros 1998).

*Tabla 5. Contenido de fructanos en algunos alimentos.*

Nombre común	Nombre científico	Familia	Ubicación	Fructano	% en materia comestible
Achicoria	<i>Cichorium intybus</i>	Asteraceae	Raíz	Inulina	16-20
Topinambur	<i>Helianthus tuberosus</i>	Asteraceae	Tubérculo	Inulina	15-20
Yacón	<i>Smallanthus sonchifolius</i>	Asteraceae	Raíz	FOS	9-19
Ajo	<i>Allium sativus</i>	Liliaceae	Bulbo	Inulina	9-11
Cebolla	<i>Allium cepa</i>	Liliaceae	Bulbo	Inulina	2-6
Espárrago	<i>Asparagus officinalis</i>	Liliaceae	Turión	Inulina	2-3
Trigo	<i>Triticum durum</i>	Poaceae	Grano	Inulina	1-6
Plátano	<i>Musa sp</i>	Musaceae	Fruto	Inulina	0,3-0,7

Estos compuestos son fermentados completamente por las bacterias en el colon, dando origen a AG de cadena corta (acetato, propionato, butirato, lactato), biomasa bacteriana y gases ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ , metano). Aún en altas dosis, no se detectan cantidades significativas de fructanos en las heces (Cherbut 2002). Como resultado de la fermentación aumenta la masa bacteriana, lo que a su vez incrementa el tamaño y peso fecal y favorece la motilidad intestinal. El índice de volumen (aumento en el peso de deposiciones expresado como g/g de CHO indigerible ingerido) es de 1,2 a 2,1, valor similar al producido con otras fibras que fermentan fácilmente, como pectinas y gomas, debido principalmente al aumento en la biomasa microbiana. La frecuencia de deposiciones aumenta con la disminución del pH fecal, lo que se vincula a la supresión de la producción de sustancias putrefactas en el colon (Nyman 2002). Por su capacidad de fermentar, la inulina y los FOS pueden modular diversos aspectos de la integridad del epitelio intestinal, reduciendo el riesgo de enfermedades gastrointestinales (Cherbut 2002).

El colon es un ecosistema complejo, constituido por un delicado equilibrio de bacterias benéficas y otras con efecto patogénico, capaces de generar toxinas y carcinógenos. Entre los microorganismos benéficos se encuentran las bifidobacterias y los lactobacilos. Al ser sustratos preferenciales de estas bacterias, los fructanos contribuyen a la salud del huésped a través de la disminución del pH intestinal, poco tolerado por los bacteroides. Los beneficios para la salud que se atribuyen a las bifidobacterias incluyen la inhibición del crecimiento de bacterias dañinas, estimulación de componentes del sistema inmune, mejor absorción de ciertos iones, como el calcio, y la síntesis de vitaminas B (Niness 1999). El efecto bifidogénico, que provoca cambios positivos en la composición de la microflora, se ha demostrado en sujetos que ingieren dosis entre 5 y 20 g/día, generalmente sobre un período de 15 días (Gibson y Roberfroid 1995).

La inulina y los FOS se han denominado prebióticos (Gibson y Roberfroid 1995), es decir, "ingredientes no digeribles de los alimentos, que selectivamente estimulan el crecimiento y/o actividad de bacterias intestinales que favorecen la salud". A menudo se usan en combinación con probióticos o bacterias vivas que son agregados a los alimentos funcionales para promover un efecto beneficioso. Las combinaciones de pre y probióticos tienen efectos sinérgicos y se les denomina simbióticos.

La indigestibilidad de los fructanos en el tracto gastrointestinal superior es la base de su reducido valor calórico, comparado con sus componentes monosacáridos. Como ya se mencionó, por acción de la flora bacteriana en el colon se convierten en AG de cadena corta, que contribuyen al metabolismo energético del huésped. El valor energético estimado, tanto para la inulina como para los FOS, es de 1,5 kcal/g (Roberfroid 1999).

Debido a su resistencia a la hidrólisis, ninguna de las moléculas de fructosa y glucosa que conforman los FOS aparece en la sangre portal cuando se las ingiere por vía oral y se ha encontrado que son apropiadas para el consumo de diabéticos (Roberfroid 2000). El consumo de inulina en altas dosis (40-100 g/día) beneficia a los diabéticos (Niness 1999). De los estudios realizados, llama la atención una reducción significativa de la glicemia en diabéticos no insulino dependientes, al tratarlos durante dos semanas con 8 g de FOS, también disminuyeron el colesterol total y LDL (Yamashita y otros 1984). En otra experiencia, en sujetos sanos con elevación moderada de lípidos en la que se administró 10 g de inulina durante ocho semanas, no se observó efecto en

la glicemia, pero sí redujo los niveles de insulínemia, con disminución de las concentraciones de triglicéridos (Jackson y otros 1999). El efecto de los FOS sobre los niveles de glucosa y lípidos se basa en la posible acción de los AG producidos en el colon durante la fermentación, que pueden influenciar el metabolismo de CHO y lípidos (Alles y otros 1999). Las acciones de los fructanos sobre la glicemia e insulínemia no están todavía completamente dilucidadas y los datos disponibles son contradictorios, indicando que pueden depender de las condiciones fisiológicas (estado de ayuno comparado con post prandial) o la presencia de enfermedades (diabetes).

Estudios en animales alimentados con 10% de oligofructosa muestran una reducción del perfil de los triglicéridos (Delzenne y Kok 2001); sin embargo, los intentos por reproducir efectos similares en humanos son conflictivos. Metanálisis sobre el efecto del consumo de fructanos en el metabolismo lipídico señalan que existe una disminución de los triglicéridos en sangre (Brighenti 2007), en tanto que el efecto sobre la disminución del colesterol es más evidente en individuos hipercolesterolémicos. La administración oral de 7 g/día de inulina en los individuos con obesidad y dislipidemia disminuyó las concentraciones de colesterol total, LDL, VLDL y triglicéridos (Balcázar y otros 2003). Esto se debería a la disminución de la lipogénesis *de novo* en el hígado, mientras que a nivel del colon la disminución de pH provocaría la desconjugación y eliminación de ácidos biliares y la utilización de colesterol para la síntesis de nuevos ácidos biliares. También se señala que la presencia de propionato puede interferir en la formación de colesterol a nivel hepático (Jackson y otros 1999). Para interpretar los resultados de estudios en humanos es necesario considerar una serie de factores, tales como la duración del tratamiento, la ingesta de CHO comparada con la de los lípidos y la composición lipídica del suero al comienzo del tratamiento.

El efecto de los fructanos sobre la absorción de minerales ha sido descrito (Ohta y otros 1998). La disminución del pH del colon por la fermentación, la producción de AG de cadena corta y el aumento en la concentración de la proteína calbindina en el colon se han propuesto como mecanismos para explicar el incremento de la biodisponibilidad de calcio. Se ha demostrado en ratas que la alimentación con FOS incrementa la concentración de calcio y mejora la estructura ósea (Scholtz-Ahrens y otros 2001), a la vez que la inulina eleva el contenido mineral y la densidad ósea en estos animales (Roberfroid 2002). La administración de una dieta con 16,8 g de FOS o 40 g de inulina aumenta la absorción de calcio en un 12% y 11%, respectivamente (Coudray y otros 1997, Van den Heuvel y otros 1999). Una mezcla de inulina y FOS (8 g) aumentó la absorción de calcio en mujeres con menopausia por más de seis años, con adecuada o alta ingesta de este mineral, sin un aumento compensatorio de su excreción urinaria, lo que sugiere que estos ingredientes pueden influir en la absorción de calcio en la fase postmenopáusica prolongada (Tahiri y otros 2003). Distintos resultados se obtuvieron empleando FOS con grado de polimerización GP4, inulina con GP25, o una mezcla de ambos (50% de cada uno), e inulina de cadena ramificada, a un nivel de 10% en las dietas experimentales en ratas adultas durante 28 días (Coudray y otros 2003). Todos los compuestos ensayados aumentaron la absorción intestinal y el balance de calcio, pero sólo fue significativo para la mezcla de FOS e inulina. Este efecto se explicaría a través de la fermentación producida a lo largo del colon, ya que los de menor grado de polimerización fermentan primero, mientras que la inulina fermenta en el colon distal. Los resultados obtenidos

dan una evidencia promisorio de que la inulina y los FOS aumentan la absorción de calcio, magnesio y hierro en humanos (Coudray y otros 1997, 2003).

El aumento de bifidobacterias provocado por el consumo de inulina y FOS es responsable de una fermentación más beneficiosa que la producida por las bacterias proteolíticas, provoca la detoxificación de genotoxinas en el intestino y genera un ambiente bactericida para enteropatógenos como *E. coli* y *Clostridium perfringens*, con un microambiente favorable que también puede involucrar la modulación de enzimas bacterianas (Rowland y otros 1998, Gallaher y Khil 1999). El ácido butírico generado protege la mucosa colónica, aumenta la proliferación de células normales y provoca mayor secreción de mucina, una barrera que puede proteger a las células epiteliales del ataque de compuestos reactivos (Pool-Zobel y otros 2002).

En numerosos alimentos se utilizan pectinas, mucílagos o gomas como espesantes. Los fructanos de diferente grado de polimerización poseen propiedades físicas y tecnológicas, en tanto que la inulina, por su capacidad para formar geles, se usa como reemplazante de grasas en una gran variedad de productos como yogures, helados, quesos, panes, galletitas y bebidas, entre otros. Los FOS, por su menor tamaño de cadena, tienen un 30% del poder edulcorante de la sacarosa, mientras que la supera en su capacidad para retener agua. Como no son azúcares reductores, no favorecen a la reacción de Maillard, son estables a pH >3 y a temperaturas de hasta 130 °C. Pueden ser usados como ingredientes en tortas, cereales para desayuno, barras de cereales y productos lácteos como los ya señalados (Bornet 2001).

El análisis de los fructanos ha cobrado gran interés debido a la importancia que han adquirido desde el punto de vista de la salud y, como consecuencia, en la industria de alimentos para cumplir las exigencias legales de rotulación nutricional, en el que se incluye la declaración del contenido de FD, de la que los fructanos forman parte de la fracción soluble. Por otra parte, es importante el análisis de los vegetales en la búsqueda de nuevas fuentes de fructanos. Existe muy poca información sobre su contenido en las plantas, ya que su identificación, su separación y su cuantificación tradicionalmente han sido incompletas y tediosas. La variedad de estructuras, fuentes y factores que pueden afectar su conformación dificulta el análisis. En general, se realiza una hidrólisis de los polímeros y la subsiguiente medición de los compuestos generados, de modo que los resultados estarán influidos por la eficacia de la metodología e instrumental con la que se separan y miden.

Hoebregs (1997) desarrolló un método que hidroliza la muestra extraída con agua caliente, mediante amiloglucosidasa y luego inulinasa, para despolimerizar el almidón y los fructanos. De cada uno de estos pasos, como también del extracto original, se analiza una muestra por cromatografía líquida de intercambio iónico, con detector de pulso amperométrico (Método AOAC 997.08). McCleary y otros (2000) desarrollaron un método enzimático-colorimétrico (Método AOAC 999.03), que posteriormente se modificó (McCleary y Rossiter 2004), el cual permite recuperar fracciones de PM más bajo. La aparición de nuevas fuentes de fibra, que no son determinadas por el método oficial, ya que por su bajo PM son solubles en alcohol, como los oligosacáridos no digeribles, ha llevado al desarrollo de nuevas técnicas analíticas, que ya cuentan con su aceptación por parte de la AOAC y que se han incorporado en el *Codex Alimentarius*.

## Fibra dietética: definición actual

Como se ha descrito, existe una gran diversidad de compuestos que no son digeribles, por lo que son muchos los esfuerzos realizados para lograr una definición de la fibra. Por otra parte, se dispone de diferentes criterios analíticos y fisiológicos y aun de denominación que han sido adoptados por distintos investigadores. Tanto la definición de FD como el método analítico a emplear en su determinación son dos elementos muy necesarios desde el punto de vista legal para la rotulación o etiquetado de los alimentos y, desde el punto de vista sanitario, para contar con datos reales.

La AACC (*American Association of Cereal Chemists*) estableció en 2001 una definición según la cual "FD es la parte comestible de las plantas o CHO análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado humano, con fermentación completa o parcial en el intestino grueso. La FD incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias asociadas. La FD promueve efectos fisiológicos benéficos, que incluyen la laxación, y/o disminución de la colesterolemia y/o de la glicemia" (AACC 2001). Como se puede observar, esta definición amplía el contenido de la FD a los CHO análogos, es decir, aquellos que se originan por procesos químicos, físicos o enzimáticos. Además, se explicitan los beneficios fisiológicos que deben aportar para ser considerados como fibra. Sin embargo, en la actualidad en algunos países como Japón, Corea, Holanda, Nueva Zelanda, se considera dentro de la FD a compuestos no digeribles provenientes de alimentos de origen animal (ej. quitina). Por lo tanto, el Programa Conjunto sobre Normas Alimentarias FAO/OMS-*Codex Alimentarius* presentó, en 2004, una propuesta de definición para su discusión y aceptación posterior, cuya aprobación aún no ha logrado consenso y señala que "La FD consiste en materias comestibles no digeribles que se encuentran naturalmente en los alimentos, que se componen de polímeros de CHO con un grado de polimerización (DP) no inferior a 3, o de polímeros de CHO con un grado de polimerización (DP)  $\geq 3$ , obtenidos de materia prima alimentaria por medios físicos, enzimáticos o químicos u obtenidos por síntesis. La FD no es digerida ni absorbida en el intestino delgado y acusa, al menos, alguno de los siguientes efectos fisiológicos beneficiosos:

- Incrementa la defecación
- Estimula la fermentación en el colon
- Reduce el nivel de colesterol y/o de LDL
- Reduce los niveles de glucosa y/o insulina post-prandial".

El Instituto de Medicina que depende de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos (*National Academies Press 2005*) propuso nuevas definiciones como: "Fibra funcional", que son los CHO no digeribles aislados que presentan un efecto benéfico fisiológico conocido, y "Fibra total", que es la suma de la FD más la fibra funcional. Sin embargo, esta propuesta tuvo poca aceptación, ya que analíticamente es imposible diferenciar ambas fracciones.

El estudio de la FD ha despertado, desde sus comienzos, gran interés desde diferentes puntos de vista, como el analítico, sanitario o tecnológico, como se refleja en los numerosos estudios realizados sobre el tema. Citando a Heaton (1981) se comprende por qué aún no se logra acordar una

definición de FD y el largo camino que todavía se debe recorrer para su conocimiento: “La fibra no es una sustancia, sino un concepto. Más aún, una serie de conceptos diferentes en la mente del botánico, químico, fisiólogo, nutricionista o gastroenterólogo”.

## Referencias

- AACC. 2001. Dietary Fiber Definition. Committee of the American Association of Cereal Chemists. The definition of dietary fiber. *Cereal Foods World*, 46: 112-126.
- Alles MS, de Roos NM, Bakx JC, van de Lisdonk E, Zock PL, Hautvast JG. 1999. Consumption of fructooligosaccharides does not favorably affect blood glucose and serum lipid concentrations in patients with type 2 diabetes. *Am J Clin Nutr*, 69: 64-69.
- American Gastroenterological Association. 2000. Impact of dietary fiber on colon cancer occurrence. *Gastroenterology*, 118: 1235-1257.
- Anderson G, Harvey C, Nicole LA, Woodend DM, Wolever TMS. 2002. Inverse association between the effect of carbohydrates on blood glucose and subsequent short-term food intake in young men. *Am J Clin Nutr*, 76: 1023-1030.
- Anderson GH, Moore S. 2004. Dietary proteins in the regulation of food intake and body weight in humans. *Am J Clin Nutr*, 134: 974S-979S.
- Araya H, Vera G, Alviña M, Pak N. 1998. Nuevas perspectivas acerca de la calidad nutricional de los hidratos de carbono complejos disponibles. *Rev Chil Nutr*, 25: 35-44.
- Araya H, Contreras P, Vera G, Alviña M, Pak N. 2002. A comparison between an in vitro method to determine carbohydrate digestion rate and the glycemic response in young men. *Eur J Clin Nutr*, 56: 735-739.
- Araya H, Lutz M. 2003. Alimentos saludables y funcionales. *Rev Chil Nutr*, 30: 8-14.
- Asp NG, Johansson C. 1984. Reviews in Clinical Nutrition. *Nutr Rev*, 54: 735-752.
- Balcázar BR, Martínez E, González M. 2003. Efecto de la administración oral de inulina sobre el perfil de lípidos y la sensibilidad a la insulina en individuos con obesidad y dislipidemia. *Rev Méd Chile*, 131: 597-604.
- Bell EA, Castellanos VH, Pelkman CL, Thorwart ML. 1998. Energy density of foods affects energy intake in normal-weight women. *Am J Clin Nutr*, 67: 412-420.
- Bello Pérez LA, Mendez G, Agama, E. 2006. Almidón: definición y propiedades. En: *Carbohidratos en alimentos iberoamericanos*. Wenzel E, Lajolo F, editores. Universidade de São Paulo, pag 11-46.
- Bjorck I, Grandfeldt Y, Liljeberg H, Tovar J, Asp N-G. 1994. Food properties affecting the digestion and absorption of carbohydrates. *Am J Clin Nutr*, 59 (suppl): 699S-705S.
- Bornet FRJ. 2001. Fructo-oligosaccharides and other fructans: chemistry, structure and nutritional effects. En: *Advanced Dietary Fibre Technology*. McLeary B, Prosky L, editores. Blackwell Science, Londres, pag 480-490.
- Brighenti F. 2007. Dietary fructans and serum triacylglycerols: A meta analysis of randomized controlled trials *J Nutr*, 137: 2552S-2556S.

- Brown IL. 2004. Applications and uses of resistant starch. *J AOAC Int*, 87: 727-732.
- Chao E, Simmons C, Black R. 1998. Physiologically functional wheat bran. En: *Functional Foods*. Mazza G, editor. Technomic Publishing Co, Lancaster, pag 39-70.
- Cherbut C. 2002. Inulin and oligofructose in the dietary fibre concept. *Br J Nutr*, 87 (Suppl 2): 159S-162S.
- Codex Alimentarius. 2007. FAO-OMS. Documento CL 2007/3-NFSDU.
- Colonna P, Mercier C. 1985. Gelatinization and meeting of the maize and pea starches with normal and high-amylose genotypes. *Phytochemistry*, 24: 1667-1674.
- Colonna P, Leloup V, Buleon A. 1992. Limiting factors of starch hydrolysis. *Am J Clin Nutr*, 46: S17-S32.
- Coudray C, Bellange J, Castiglia-Delahaut C. 1997. Effect of soluble and partly soluble dietary fibres supplementation on absorption and balance of calcium, magnesium, iron and zinc in healthy young men. *Eur J Clin Nutr*, 51: 375-380.
- Coudray C, Tressol JC, Gueux E, Raysseguier Y. 2003. Effects of inulin-type fructans of different chain length and type of branching on intestinal absorption and balance of calcium and magnesium in rats. *Eur J Nutr*, 42: 91-98.
- De Fronzo RA, Ferrannini E. 1991. Insulin resistance. A multifaceted syndrome responsible for NIDM, obesity, hypertension, dyslipidemia, and atherosclerotic cardiovascular disease. *Diabetes Care*, 14: 173-194.
- Delzenne N, Kok N. 2001. Effects of fructanes type prebiotics on lipid metabolism. *Am J Clin Nutr*, 73 Suppl: 456S-458S.
- De Vries DW, Prosky, L, Cho S. 1999. A historical perspective on defining dietary fiber. *Cereal Food World*, 44: 367-369.
- Dreher M. 2001. Dietary Fiber Overview. En: *Handbook of Dietary Fiber*. Cho SS, Dreher M, editores. Cap 1. Marcel Drekker Inc, New York, pag 1-17.
- Elliasson AC, Gudmundsson M. 1996. Starch: Physicochemical and functional properties. En: *Carbohydrates in Food*. Marcel Dekker Inc, New York, pag 431-503.
- Englyst HN, Kingsman SM, Cummings JH. 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *Eur J Clin Nutr*, 46 (suppl): 33S-350S.
- Englyst HN, Veenstra J, Hudson GJ. 1996. Measurement of rapidly available glucose (RAG) in plant foods as in vitro predictor of glycemic response. *Br J Nutr*, 73: 327-337.
- Englyst KN, Englyst HN, Hudson GJ, Cole TJ, Cummings JH. 1999. Rapid available glucose in foods: an in vitro measurement that reflects the glycemic response. *Am J Clin Nutr*, 69: 448-454.
- FAO/WHO. 1998. *Carbohydrates in Human Nutrition: Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation, 14-18 April 1997, Rome*. FAO Food and Nutrition Paper No. 66. Chap 4. The role of the glycemic index in food choice.
- Flatt SP. 1996. Glycogen levels and obesity. *Int J Obes*, 20 (suppl 2): S1-S11.
- Foltin RW, Fishman IM, Moran TH, Rolls BJ, Kelly TH. 1990. Caloric compensation for lunches varying in fat and carbohydrates by human in a residential laboratory. *Am J Clin Nutr*, 52: 969-980.

- Gallaher DD, Khil J. 1999. The effect of synbiotics on colon carcinogenesis in rats. *J Nutr*, 129 Suppl: 1483S-1487S.
- Gibson GR, Macfarlane S, Cummings JH. 1990. The fermentability of polysaccharides by mixed faecal bacteria in relation to their suitability as bulk-forming laxatives. *Lett Appl Microbiol*, 11: 251-254.
- Gibson GR, Roberfroid MB. 1995. Dietary modulation of the human colon microbiota. Introducing the concept of prebiotics. *J Nutr*, 125: 1401-1412.
- Goñi I, Martín N. 2001. Fermentación colónica de fibra dietética y almidón resistente. En: *Fibra dietética en Iberoamérica*. Wenzel E, Lajolo F, Penna E, Saura F, editores. Livraria Varela. São Paulo, Brasil, pag 311-338.
- Goñi I. 2005. Carbohidratos y salud intestinal. En: *Carbohidratos en alimentos iberoamericanos*. Wenzel E, Lajolo F, editores. Universidade de São Paulo, pag 287 - 307.
- Grandfolt Y, Bjork I. 1991. Glycemic response to starch in pasta: a study of mechanisms of limited enzyme susceptibility. *J Cereal Sci*, 14: 47-61.
- Green SM, Wales JK, Lawton CL, Blundell JE. 2000. Comparison of high fat and high-carbohydrate foods in a meal or snack on short term fat and energy intakes in obese women. *Br J Nutr*, 84: 521-530.
- Gustafsson K, Asp NG, Hagander B, Nyman M, Schweizer T. 1995. Influence of processing and cooking of carrots in mixed meals on satiety, glucose and hormonal response. *Int J Food Sci Nutr*, 46: 3-12.
- Heaton KW. 1981. Gallstones. En: *Western Diseases: Their emergency and prevention*. Trewell HE, editor. Cambridge University, pag 47-59.
- Hoebregs H. 1997. Fructans in food and food products, ion exchange-chromatographic method: Collaborative study. *J AOAC*, 80: 1029-1037.
- Holt SA, Brand Miller J. 1994. Particle size, satiety and the glycaemic response. *Eur J Clin Nutr*, 48: 496-502.
- Hu Y, Block G, Norkus E, Morrow J, Dietrich M, Hudes M. 2006. Relations of glycemic index and glycemic load with plasma oxidative stress markers. *Am J Clin Nutr*, 84: 70-76.
- Jackson KG, Taylor GR, Clohessy AM, Williams CM. 1999. The effect of the daily intake of inulin on fasting lipid insulin and glucose concentrations in middle-aged men and women. *Br J Nutr*, 82: 23-30.
- Jenkins DA. 1978. Dietary fiber and glucose tolerance: importance of viscosity. *Br Med J*, 1: 1392-1394.
- Kendall CWC, Emam A, Augustin LSA, Jenkins DJA. 2004. Malabsorption and colonic fermentation of resistant starch. *J AOAC Int*, 87: 769-774.
- Krichevsky D. 1995. Epidemiology of fiber, resistant starch and colorectal cancer. *Eur J Cancer Prev*, 4: 345-352.
- León AE, Jovanovich G, Añón MC. 1998. Gelatinization profiles of triticale starch in cookies as influenced by moisture and solutes. *Cereal Chem*, 75: 617-623.
- Leinonen K, Liukkonen K, Poutanen K, Uusitupa M, Mykkanen H. 1999. Rye bread decreases postprandial insulin response but does not alter glucose response in healthy Finnish subjects. *Eur J Clin Nutr*, 53: 262-267.

- Livesey G. 2001. A perspective on food energy for nutritional labeling. *Brit J Nutr*, 85: 271-287.
- Ludwig DS, Majzoub J, Al-Zahrani A, Dallal G, Blanco I, Roberts S. 1999. High glycemic index foods, overeating, and obesity. *Pediatrics*, 103: 1-6.
- Ludwig DS. 2000. Dietary glycemic index and obesity. *J Nutr*, 130: 280S-283S.
- McCleary B, Murphy A, Mugford D. 2000. Measurement of total fructan in foods by enzymatic / spectrophotometric method: collaborative study. Inulin and oligofructan. *J AOAC*, 83: 356-364.
- McCleary B, Rossiter P. 2004. Measurement of novel dietary fibers. *J AOAC*, 87: 707-717.
- Meier R, Gassull MA. 2004. Consensus recommendations on the effects and benefits of fibre in clinical practice. *Clin Nutr Suppl*, 1: 73-80.
- National Academies Press. 2005. **Dietary, Functional, and Total Fiber**. Dietary Reference Intakes. Cap 7. Washington DC, pag 339-421.
- Niness KR. 1999. Inulin and Oligofructose: What are they? *Am J Clin Nutr*, 129 Suppl: 1402S-1406S.
- Nordgaard I, Hansen BS, Mortensen PB. 1995. Digestive processes in the human colon. *Nutrition*, 11: 37-45.
- Nyman M. 2002. Fermentation and bulking capacity of indigestible carbohydrates: the case of inulin and oligofructose. *Br J Nutr* 87, Suppl 2: S163-S168.
- Ohta A, Ohtsuki M, Hosno A, Atachi T, Hara T, Sakala T. 1998. Dietary fructooligosaccharides prevent osteopenia after gastrectomy in rats. *J Nutr*, 128: 106-110.
- Parillo M, Riccardi G. 2004. Diet composition and the risk of type of diabetes: epidemiological and clinical evidence. *Brit J Nutr*, 92: 7-19.
- Pontis HG, Del Campillo E. 1985. Fructans. En: *Biochemistry of storage carbohydrates in green plants*. Dey PM, Dixon R, editores. Academic Press, Londres, pag 205-227.
- Pool-Zobel B, van Loo J, Rowland I, Roberfroid MB. 2002. Experimental evidences on the potential of prebiotics fructans to reduce the risk of colon cancer. *Br J Nutr*, 87 Suppl 2: 273S-281S.
- Prosky L. 1999. Inulin and oligofructose are part of dietary fiber complex. *J AOAC*, 82: 223-226.
- Roberfroid M, Van Loo J, Gibson G. 1998. The bifidogenic nature of chicory inulin and its hydrolysis products. *J Nutr*, 128: 11-19.
- Roberfroid MB. 1999. Caloric value of inulin and oligofructose. *J Nutr*, 129: 1436S-1437S.
- Roberfroid MB. 2002. Functional foods: concepts and application to inulin and oligofructose. *Br J Nutr*, 87 Suppl 2: 139S-143S.
- Roberts SB. 2000. High glycemic index foods, hunger, and obesity: Is there a connection? *Nutr Rev*, 58: 163-169.
- Rolls B. 1997. Carbohydrates: Effects on hunger, satiety and food intake Joint FAO Consultation on carbohydrates in human nutrition. Rome, Italy. Abril 14-18.
- Rowland IR, Rumne CJ, Coutts JT, Lievens LC. 1998. Effect of *Bifidobacterium longum* and inulin on gut bacterial metabolism and carcinogen-induced aberrant crypt foci in rats. *Carcinogenesis*, 19: 281-285.
- Sajilata MG, Singhal RS, Kulkarni PR. 2006. **Resistant Starch – A Review**. *Comprehensive Rev Food Sci Food Safety*, 5: 1-17.

- Scholz-Ahrens KE, Schaafsma G, Van den Heuvel EGHM, Schrezenmeir J. 2001. Effects of prebiotics on mineral metabolism. *Am J Clin Nutr*, 73 Suppl: 459S-464S.
- Stubbs J, Mazian N, Whybrow S. 2001. Carbohydrates, appetite and feeding behavior in humans. *J Nutr*, 131: 2775S-2781S.
- Tahiri M, Tressol JC, Arnaud J, Bornet FRJ, Bouteloup-Demage C, Feillet-Coundray C, Brandolini M, Ducros V, Pepin D, Brouns F, Roussel AM. 2003. Effect of short-chain fructooligosaccharides on intestinal calcium absorption and calcium status in postmenopausal women: a stable-isotope study. *Am J Clin Nutr*, 77: 449-457.
- Theander O, Westerlund EA. 1986. Studies on dietary fiber. 3. Improved procedures for analysis of dietary fiber. *J Agric Food Chem*, 34: 330-336.
- Topping DL, Morell MK, King RA, Li Zhong Y, Bird AR, Noakes M. 2003. Resistant starch and health Himalaya 292, a novel barley cultivar to deliver benefits to consumers. *Starch/Stärke*, 55: 539-545.
- Trowell HC, Southgate DAT, Wolever TMS, Leeds AR, Gassull MA, Jenkins DJA. 1976. Dietary fiber redefined. *Lancet*, 1: 1967-1968.
- Trowell H, Burkitt D. 1986. Physiological role of dietary fiber: a ten year review. *J Dent Child*, 53: 444-447.
- Urooj A, Puttaraj S. 2000. Glycaemic responses to cereal-based Indian food preparation in patients with non-insulin-dependent diabetes mellitus and normal subjects. *Br J Nutr*, 83: 483-488.
- Urteaga C, Jury G, Uauy R. 2001. En: Pirámide alimentaria de la mujer. Burrows R, Castillo C, Atalah E, Uauy R, editores. Ministerio de Salud, Universidad de Chile. Santiago, Chile, pag 121-136
- Valderrama M, Manrique I. 2003. Seminario. El yacón: fundamentos para el aprovechamiento de un recurso promisorio. Centro Internacional de la Papa (CIP), Universidad Nacional de Cajamarca, Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE), Lima, Perú, pag 60.
- Van den Heuvel EG, Merys T, van Dokkum W, Schasfsma, G. 1999. Oligofructose stimulates calcium absorption in adolescents. *Am J Clin Nutr*, 69: 544-548.
- Yamashita K, Kawai K, Itakura M. 1984. Effect of fructo-oligosaccharides on blood glucose and serum lipids in diabetic subjects. *Nutr Res*, 4: 961-966.

## V. Valor nutricional y saludable de materias primas para la elaboración de productos de panificación

María Cristina Añon, María Cecilia Puppo

Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecología de Alimentos, La Plata, Argentina.

Ruth Pedroza-Islas

Universidad Iberoamericana, México

Bonastre Oliete

Universidad de Valladolid, España

Dora Villagómez-Zavala

Instituto Politécnico Nacional, México  
Universidad Nacional Autónoma de México

En este capítulo se describe una serie de materias primas con las cuales es factible elaborar productos de panificación mejorando sus atributos saludables. El texto abarca algunas características de cultivo, la composición química, el valor nutricional y las propiedades saludables que atribuyen a los alimentos que las incluyen.

### Algarrobo

El algarrobo europeo (*Ceratonia siliqua L.*) es un árbol de origen mediterráneo (Avallone y otros 1997, Yousif y Alghzawi 2000), cuyo fruto se utiliza en muchos países árabes para preparar bebidas y dulces típicos. En occidente se extraen las semillas de la vaina para confeccionar una harina que, triturada y tostada, se utiliza como sustituto del cacao (Yousif y Alghzawi 2000), como también en la industria alimentaria por su contenido de gomas (Avallone y otros 1997). El algarrobo americano (*Prosopis sp.*) fue denominado así por los primeros exploradores españoles, debido a su gran parecido con el algarrobo europeo. El *Prosopis* es un género muy antiguo, con alrededor de 45 especies distribuidas en América, África y Asia. El algarrobo proporciona materias primas para diversos fines, tales como madera y resina, la que se emplea como tintura de color negro para lana o algodón.

Las vainas y semillas del algarrobo americano (*Prosopis alba*) son fuente de harinas para la elaboración de alimentos tradicionales regionales (Pantaneli 2001), y corresponde al producto de la molienda de la vaina del fruto, en el que están incluidas las semillas. En cambio, la harina de algarrobo europeo se obtiene de la vaina decorticada, obteniéndose la denominada harina de germen, ingrediente que posee un elevado contenido de proteínas de alto valor nutricional (Dakia y otros 2007, Bengoechea y otros 2008).

La composición química del algarrobo europeo (Binder y otros 1959, Calixto y Canellas 1982) muestra un alto contenido de azúcares solubles (cercano al 50%), por lo que se le utiliza para la elaboración de edulcorante. La harina de la vaina contiene un 45% de hidratos de carbono (CHO), 3% de proteína y 0,6% de lípidos, mientras que la de germen y la de semilla contienen más lípidos y menos CHO (Avallone y otros 1997).

En el mercado europeo existen diversos productos comerciales como el Carovit<sup>®</sup> (Alimcarat S.A., España), harina tostada de algarrobo utilizada como sustituto del cacao. Es un producto de bajo contenido de grasa y alto contenido de fibra y azúcares naturales (poder edulcorante 0,5-0,6). No posee sustancias excitantes (teobromina y cafeína) y contiene vitaminas (A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, D) y minerales (hierro, calcio, fósforo y magnesio) (Ayaz y otros 2007). Posee propiedades bioactivas como activador de la motilidad, protector de la mucosa intestinal y se ha descrito su capacidad hipocolesterolémica (Pérez-Olleros y otros 1999 a,b). Se aplica a productos de panadería, barras de cereales, coberturas de chocolate, helados, cremas batidas y productos dietéticos. Otro producto alto en proteína es una harina de germen de algarrobo denominado Carotina<sup>®</sup> (Alimcarat S.A., España), que posee un 46% de proteínas ricas en lisina y arginina, 5% de fibra dietética (FD), 7% de azúcares solubles y 25% de CHO. Esta harina se usa en alimentos dietéticos (Dakia y otros 2007) y es un ingrediente potencial en productos destinados a celíacos (Feillet y Roulland 1998). Bengoechea y otros (2008) estudiaron la composición química y polipeptídica de las proteínas de harina y aislado obtenido de germen de algarrobo (ver Tabla 1), observando altas cantidades de ácido glutámico, aspártico y arginina. Tanto la harina como el aislado son deficientes en aminoácidos aromáticos como fenilalanina y tirosina.

Existen hidrolizados enzimáticos (Glutarcarob<sup>®</sup>, Pevesa, España) con un contenido de proteína superior al 85% y un aporte elevado de glutamina (18%) (Candow y otros 2001) y arginina (12%) (Flynn y otros 2002), aminoácidos que constituyen un aporte importante a la nutrición de deportistas y pacientes inmunodeprimidos. En ciertas patologías como en casos de estrés metabólico y luego de ejercicios intensos, se ha detectado una disminución del nivel de glutamina en plasma y tejidos (Boza y otros 2000). Para satisfacer la gran demanda de glutamina del sistema inmunológico, ésta debe ser provista por la dieta para que sea distribuida también al músculo esquelético. La Tabla 2 muestra que el contenido de ácido glutámico y arginina es mayor en el algarrobo que en el caseinato y en una mezcla caseinato-glutamina (Boza y otros 2000). Sin embargo, estos autores encontraron un nivel superior del aminoácido en sangre cuando los pacientes fueron alimentados con la mezclas caseinato-glutamina (libre) en comparación con la dieta que la incluía unida a proteínas de algarrobo. Por esta razón, los hidrolizados enzimáticos están cobrando cada vez más interés desde el punto de vista nutricional. Además, debido al alto contenido de minerales en la harina, especialmente calcio, hierro y manganeso, así como de FD (Ayaz y otros 2007), se recomienda su consumo en casos de desnutrición, bajo peso, descalcificación, y en el período de amamantamiento.

Tabla 2. Contenido aminoacídico de algarrobo y sus derivados, caseinato de sodio y mezcla caseinato + glutamina (g aminoácido/100 g proteína). Fuente: Boza y otros 2000

Aminoácido	Caseinato	Caseinato + glutamina	Algarrobo fruto	Algarrobo concentrado	Algarrobo hidrolizado
Ac. Aspártico	6,40	5,82	7,96	8,20	7,78
Ac. Glutámico	11,56	10,52	11,19	11,01	12,54
Arginina	3,75	3,41	11,99	12,75	12,71
Serina	4,86	4,42	4,82	4,33	4,72
Glicina	1,72	1,56	5,08	4,81	4,76
Alanina	2,87	2,61	4,49	4,15	4,28
Prolina	10,41	9,47	3,69	3,73	3,73
Histidina	2,75	2,50	2,81	2,56	2,77
Treonina	3,99	3,63	3,44	3,26	3,18
Valina	6,23	5,67	4,03	4,25	4,06
Isoleucina	4,80	4,37	3,34	3,60	3,46
Leucina	9,27	8,43	6,42	6,71	6,63
Lisina	7,60	6,91	5,17	4,89	5,03
Triptofano	1,68	1,53	n.m.	0,88	0,92
Fenilalanina	4,98	4,53	3,18	3,27	3,31
Tirosina	5,33	4,85	3,21	3,27	3,28
Metionina	2,79	2,54	1,14	1,00	0,97
Cisteína	0,36	0,33	1,39	1,35	1,34

El algarrobo americano genera gomas de excelente calidad, los galactomananos, que son utilizados como aditivos (Grados y otros 1994, Ibáñez y Ferrero 2003). La goma de *Prosopis sp.* (mezquite) es ideal para la fabricación de alimentos de digestión lenta, especialmente dirigidos a diabéticos. La harina contiene taninos, sustancias astringentes útiles para tratar la diarrea que, además, inhiben el crecimiento microbiano y se unen a las toxinas bacterianas, inactivándolas. Los polifenoles que contiene actúan como antioxidantes, inhibiendo radicales libres y disminuyendo la velocidad de oxidación de sustancias autooxidables (Kumazawa y otros 2002). Contiene una baja proporción de lípidos, entre los cuales destaca un alto contenido de los ácidos grasos (AG) insaturados oleico y linoleico (Maza y otros 1986).

Las proteínas aisladas de la harina de germen de algarrobo tienen un comportamiento viscoelástico semejante al del gluten de trigo (Feillet y Roulland 1998). Por esta razón, y debido a que no contienen gliadinas, constituyen un potencial ingrediente en la elaboración de alimentos derivados de cereales destinados a personas que presentan enfermedad celíaca (véase capítulo VIII).

Los deportistas, los individuos en procesos catabólicos, con desnutrición y los enfermos críticos requieren una dieta especialmente equilibrada. En estos grupos, la glutamina y la arginina son los aminoácidos más demandados, especialmente en los deportistas de alto nivel, y se les considera constituyentes idóneos para las dietas de tratamiento de pacientes con estrés metabólico como es el postoperatorio o las quemaduras y patologías asociadas, tales como SIDA, cáncer, entre otras situaciones críticas. Por esta razón, la industria alimentaria ha desarrollado en los últimos años diversos hidrolizados enzimáticos vegetales, mezclas de péptidos y aminoácidos libres de alto contenido proteico (> 85%) con un elevado nivel de glutamina (18%) y arginina (12%).

La glutamina es condicionalmente esencial. Su importancia radica en que es componente de proteínas y precursor del glutatión, un potente antioxidante, y es el aminoácido libre más abundante en los músculos y el plasma. Se ha demostrado que su aporte aumenta la síntesis proteica, estimula el sistema inmunológico y mantiene la integridad de la mucosa intestinal, previniendo la translocación de bacterias y toxinas (Yoshida y otros 2001, Wernerman 2002), por lo que se le emplea con frecuencia como inmunonutriente.

La arginina se considera no esencial en individuos sanos, aunque la síntesis endógena puede no ser suficiente bajo ciertos estados catabólicos. Por ello, al igual que a la glutamina, también se le clasifica como condicionalmente esencial (Yoshida y otros 2001). Su eficacia en nutrición clínica se encuentra muy bien definida, y sus efectos positivos incluyen la aceleración de la cicatrización y la estimulación de la función inmunológica. Estas acciones, acompañadas de una relativa seguridad, la hacen muy atractiva para su uso en pacientes con traumatismos físicos, postoperados, heridos, quemados, en estados de bajas defensas, o como parte de la terapia nutricional en cáncer (Ma y otros 1999, Eubanks y otros 2002). Además, contribuye a reducir factores de riesgo de enfermedades cardiovasculares (ECV), al prevenir la formación de placas en las paredes vasculares y dilatar las arterias, evitando de esta manera la producción de coágulos (Stief y otros 2001). Zunft y otros (2001) observaron disminución del colesterol LDL luego de la administración de un preparado con pulpa de algarrobo rico en FD y polifenoles en pacientes con hipercolesterolemia.

La glutamina presenta efectos anabólicos, debido a la estimulación de la síntesis proteica y el crecimiento del tejido muscular (Boza y otros 2001). Promueve la acumulación de glucógeno en músculo esquelético (Varnier y otros 1995), refuerza el sistema inmunológico y contribuye a prevenir infecciones (Castell y otros 2002, Gleeson y Bishop 2000, Conejero y otros 2002, Griffiths y otros 2002). Además, previene la fatiga y el síndrome del sobre entrenamiento en deportistas (Candow y otros 2001), aumenta la capacidad *buffer* y mejora la intensidad de realización de ejercicio de alto rendimiento. Por otra parte, la arginina estimula la liberación de hormonas de crecimiento y prolactina (Witte y Barbul 2002), acelera el proceso de cicatrización, especialmente en pacientes geriátricos (Flynn y otros 2002), aumenta la síntesis de colágeno y la masa muscular gracias a sus efectos anabólicos, ayuda a metabolizar la grasa acumulada, así como a tonificar el tejido muscular. A nivel del páncreas estimula la producción de insulina y glucógeno. El uso de la arginina en deportistas es legal, y no está penado por el Comité Olímpico Internacional.

*Tabla 1. Contenido de aminoácidos (g aminoácido/100 g proteína) y cómputo aminoacídico (CAA) de harina desgrasada y aislado proteico obtenido de harina de germen de algarrobo. Fuente: Bengoechea y otros 2008*

Aminoácido	Harina		Aislado		FAO/OMS 1991
	Contenido	CAA	Contenido	CAA	
Ac. Aspártico	8,75 ± 0,07		8,55 ± 0,07		
Ac. Glutámico	28.1 ± 0.07		30.2 ± 0.57		
Arginina	11,5 ± 0,21		13,7 ± 0,28		
Serina	5,05 ± 0,07		5,0 ± 0,3		
Glicina	5 ± 0		4,9 ± 0,1		
Alanina	4,4 ± 0,0		4,1 ± 0,0		
Prolina	8,2 ± 0,3		5,1 ± 0,3		
Histidina	2,3 ± 0,0	121	2,4 ± 0,2	126	1,9
Treonina	3,5 ± 0,0	103	3,3 ± 0,2	97	3,4
Valina	3,05 ± 0,07	87	2,5 ± 0,3	71	3,5
Isoleucina	2,3 ± 0,0	82	2,15 ± 0,07	77	2,8
Leucina	5,9 ± 0,0	89	6,35 ± 0,07	96	6,6
Lisina	5,5 ± 0,0	95	4,9 ± 0,0	84	5,8
Triptofano	0,9 ± 0,0	82	1,05 ± 0,07	95	1,1
Fenilalanina	2,9 ± 0,0	78 <sup>a</sup>	3 ± 0	78 <sup>a</sup>	6,3 <sup>a</sup>
Tirosina	2 ± 0		1,95 ± 0,07		
Metionina	0 ± 0	32 <sup>b</sup>	0,05 ± 0,07	24 <sup>b</sup>	2,5 <sup>b</sup>
Cisteina	0,8 ± 0,0		0,55 ± 0,07		

<sup>a</sup>Fenilalanina + Tirosina, <sup>b</sup>Metionina + Cisteína

## Amaranto

El amaranto (*Amaranthus sp.*) es un antiguo cultivo que se ha desarrollado hace unos 7000 años y que tiene su origen probablemente en América (Saunders y Becker 1984). Fue consumido como vegetal y como grano de cereal durante los períodos Maya y Azteca, siendo prohibido a partir de 1519, cuando Cortés invadió América, por estar ligado a las creencias religiosas indígenas. Con posterioridad, como consecuencia del intercambio de cultivos con el continente europeo, fue perdiendo popularidad. A pesar de ello, pequeños agricultores continuaron con su cultivo, lo que ha permitido preservar su existencia hasta la actualidad. En 1975, en un esfuerzo por ampliar la base alimentaria del mundo, la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos condujo un estudio en el que fue considerado uno de los 36 cultivos potenciales (*National Academy of Sciences 1975*).

Hoy en día, el amaranto ha recobrado popularidad como un viejo – nuevo cultivo, al igual que otros como quínoa (*Chenopodium quinoa*), cañahua (*Chenopodium pallidicaule*) y chia (*Salvia hispánica L.*), debido a los aspectos nutricionales beneficiosos que presentan algunos de sus componentes y sus ventajas agronómicas. Es una planta no herbácea que produce granos comestibles en cantidades importantes y, junto a la quínoa y el trigo forrajero, se les ha denominado “seudo-cereales” (*National Research Council 1984*). Taxonómicamente, el amaranto pertenece a la división Angiospermae, familia Centrospermeae, clase Dicotyledoneae, género *Amaranthus*. Es una planta de tipo C4, como el maíz, de rápido crecimiento, debido a su alta capacidad de biosíntesis y baja velocidad de fotorespiración (Kiegel 1994). Es muy resistente a la sequía y adaptable a condiciones adversas de cultivo, tales como alta salinidad en suelo y temperaturas extremas (Bressani 1994, Saunders y Becker 1984).

Existen tres especies de amaranto que se cultivan para la producción de granos: *A. hypochondriacus*, *A. cruentus* y *A. caudatus*, originadas en América, que se encuentran actualmente distribuidas también en Asia y África. En el continente americano, *A. hypochondriacus* se ubica básicamente en el norte y centro de México, *A. cruentus* en el sur de México y América Central y *A. caudatus* en los Andes, aunque existen zonas cultivadas en otros países, como Argentina. Algunos autores consideran la existencia de una cuarta especie cultivable, el *A. mantegazzianus* Pass o *A. edulis* Speg, proveniente también de Sudamérica, aunque ciertos estudios genéticos no garantizan que esta especie sea diferente. Asociadas a las especies cultivables se encuentran: *A. powelli*, *A. hybridus* y *A. quitensis*, consideradas malezas, cuyas plantas son de menor porte, con flores y frutos más pequeños y de color más oscuro que las cultivables. Dentro de cada especie de amaranto hay varios tipos de granos; así por ejemplo, dentro de *A. cruentus* se destacan los del tipo mexicano, guatemalteco y africano, que se han caracterizado en base a parámetros morfológicos y fenológicos. Algunas especies se cultivan para el consumo de sus hojas, tales como el *A. tricolor L.*, el *A. viridis L.* y el *A. bitum L.*, que cuentan con un follaje rico en carotenoides, proteínas, minerales (hierro, calcio y magnesio) y vitaminas (Prakash y Pal 1991, Prakash y otros 1995, Shukla y otros 2003, 2006).

Debido a su alta adaptabilidad, el cultivo de amaranto ha despertado mucho interés en los últimos años en países con climas adversos. En Europa, México, Perú, Estados Unidos y algunas regiones de Asia se consume en forma de granos integrales, harina, copos, harina integral de amaranto tostado, amaranto reventado al estilo rosetas, polvo pregel, aceite, barras de cereal, pan y tortillas de amaranto y maíz. La harina generalmente se utiliza para enriquecer pastas, panes, galletas y alimentos para bebés. En mezclas con harina de trigo al 25%-30% se obtiene pan francés de alto valor nutritivo.

La composición química de las especies de amaranto cultivables ha sido determinada por diferentes autores (Bertoni y otros 1984, Singhal y Kulkarni 1988, Bressani 1994, Condes y otros 2005). En todos los casos se verifica que el mayor aporte corresponde a los CHO (60%–70%), seguidos por proteínas (15%–23%), lípidos (7,8%–9%), fibra (2,8%–3,4%) y cenizas (2,9%–3,5%). Los granos se caracterizan por un contenido relativamente mayor de proteínas y lípidos que el correspondiente a los cereales (8,5%–14,4% versus 2,1%–4,5%, respectivamente).

Las semillas de amaranto poseen bajas cantidades de monosacáridos y oligosacáridos, siendo el componente mayoritario de esta fracción el almidón. Lorenz y Gross (1984) han detectado en *A. cruentus*, *A. hypochondriacus* y *A. hybridus* pequeñas cantidades de glucosa (0,12–0,67%) y fructosa (0,05–0,13%), en tanto que Becker y otros (1981) detectaron sólo trazas de estos compuestos. Estos valores son significativamente mayores que los encontrados en granos de cereales como trigo y maíz (Lineback y otros 1988, Boyer y Shanon 1987). Dentro de los oligosacáridos predomina la sacarosa (0,41–1,95%) (Lorenz y Gross 1984, Becker y otros 1981), seguida por rafinosa, maltosa y estaquirosa.

Los granos de las diferentes especies de amaranto poseen contenidos elevados de almidón, depositado en gránulos pequeños, cuyos tamaños varían entre 0,8 y 2,3  $\mu\text{m}$ , de formas poligonal, lenticular, circular o elíptica, según la especie. El almidón de diferentes especies estudiadas se caracteriza por poseer contenidos de cenizas (0,1%-1,39%), proteínas (0,12%-0,97%) y lípidos (0,39%–1,80%) superiores a los de otros almidones, como los de papa, trigo y maíz céreo. Su bajo tenor de amilosa (1,98-11,50%) permite clasificarlo como de tipo céreo. El alto contenido de lípidos y de amilopectina del almidón le otorga propiedades características, como alta viscosidad y altas temperaturas de gelatinización. Estudios llevados a cabo mediante calorimetría diferencial de barrido han mostrado que la temperatura de máxima deflexión correspondiente a la endoterma asociada con la gelatinización del almidón varía para diferentes especies de amaranto entre 56,0 y 75,0 °C y el calor puesto en juego en dicho proceso entre 1,2 y 3,4 kcal/g (Konishi y otros 1985, Barba de la Rosa y otros 1989).

El contenido de lípidos de la mayoría de las especies cultivables es aproximadamente 8% superior al de los granos de los cereales e inferior al de la soja. Cerca del 90% de los lípidos totales corresponde a triglicéridos, y el resto a lípidos unidos, con presencia de fosfolípidos y glicolípidos. Contienen una importante proporción de AG insaturados (70% oleico y linoleico, 1%  $\alpha$ -linolénico) y una baja proporción de AG saturados (20% esteárico). En las tres especies de amaranto cultivables (*A. hypochondriacus*, *A. cruentus*, *A. caudatus*) la relación de AG saturados a insaturados se

encuentra en el rango de 0,26 a 0,31. En el aceite también se encuentra tocoferoles y tocotrienoles, con una relación tocotrienoles a tocoferoles relativamente alta. La fracción insaponificable del aceite (que en *A. cruentus* representa el 8,87%) está constituida fundamentalmente por escualeno (6%) (Marcone 2000), valor considerablemente mayor al de otros aceites como oliva, arroz, maíz, girasol, algodón. El escualeno es un precursor de los esteroides y resulta de interés medicinal y para la industria de cosméticos.

Diferentes grupos de investigación de las proteínas de amaranto han desarrollado diversas metodologías para aislar estas macromoléculas a partir de la harina. Debido a la variación de las condiciones de extracción empleadas, se hace difícil llevar a cabo una comparación de resultados. A pesar de ello, todos los autores coinciden en mencionar como fracciones más abundantes a las albúminas, globulinas y glutelinas (Tabla 3) y como fracción minoritaria a la de prolaminas (entre 1,5 y 11%).

**Tabla 3. Cantidad relativa de las diferentes fracciones proteicas de la semilla de amaranto.**

Fracción proteica	% <sup>(a)</sup>	Referencia bibliográfica <sup>(b)</sup>
Albúminas	50 - 65 10 - 20 26	(1), (2) (3), (4) (5)
Globulinas	13 - 20 56	(1), (2), (3), (4) (5)
Glutelinas	7 - 8,5 42 - 56 18	(1), (2) (3), (4) (5)
Prolaminas	7,2 - 11 1,5 - 2,1	(1), (2) (3), (4)

*(a) % de proteínas del grano expresado como g fracción proteica/100 g de proteína total.*

*(b) Fuentes: (1) Abdi y Sahib 1976 (2) Duarte-Correa y otros 1986 (3) Bressani y García-Vela 1990 (4) Marcone 2000 (5) Quiroga 2008*

La fracción de albúminas – proteínas solubles en agua – se encontraría localizada en el citoplasma celular (Konishi y otros 1991). Está compuesta básicamente por polipéptidos con masa molecular entre 10 y 40 kDa y, en menor proporción, por polipéptidos con masas moleculares mayores, hasta 94 kDa (Konishi y otros 1991, Barba de la Rosa y otros 1992a, Segura-Nieto y otros 1994, Martínez y Añón 1996). Los puntos isoeléctricos (pI) de estos polipéptidos están entre 4,5–6,5 y 7,0–7,5 y presentan una alta sensibilidad frente al tratamiento térmico (Martínez y Añón 1996, Gorinstein y otros 2001). La composición de aminoácidos de las albúminas muestra cierta variabilidad en los valores asignados a lisina (6,2%-9,4%) y aminoácidos azufrados (4,1%-9,7%) (Mora-Escobedo y otros 1990, Bressani y García-Vela 1990, Konishi y otros 1991, Barba de la Rosa y otros 1992a). Los aminoácidos azufrados, glutamina/ácido glutámico y asparagina son

los más abundantes, en tanto que leucina y treonina se encuentran en menor cantidad. Marcone y otros (1994a) purificaron a la fracción albúminas por cromatografía de exclusión molecular, y los resultados obtenidos difieren de todos los mencionados. Mediante SDS-PAGE determinó la presencia de polipéptidos de un único tamaño, 12 kDa. Cada uno de estos protómeros individuales interaccionan de forma no covalente con otros 11, constituyendo un homo-oligómero de 133,4 kDa.

Las globulinas, solubles en soluciones salinas de fuerza iónica entre 0,5M y 1,0M y pH próximo a 7, están constituidas mayoritariamente por una globulina 11S (30%) (Segura-Nieto y otros 1994, Marcone y otros 1994b, Chen y Paredes-López 1997, Martínez y otros 1997) y la globulina-p (26%) (Konishi y otros 1991, Martínez y otros 1997). En menor proporción se encuentra una globulina 7S, descrita por Barba de la Rosa y otros (1992b) y Martínez y otros (1997), caracterizada por Marcone (1999). En el extracto crudo de globulinas, que comprende tanto a la fracción 7S como a 11S, destacan la glutamina/ácido glutámico y asparagina/ácido aspártico (Konishi y otros 1985, Barba de la Rosa y otros 1992b). Las globulinas poseen una proporción de aminoácidos azufrados y de lisina superior a las de avena y soja (Segura-Nieto y otros 1994).

La globulina 7S (hetero-oligómero de masa molecular próxima a 200 kDa y pl entre 5,2 y 5,8) está constituida por un gran número de polipéptidos de masas moleculares entre 90 y 15,2 kDa (Barba de la Rosa y otros 1992b, Martínez y otros 1997). Mediante análisis térmico diferencial se ha determinado que la temperatura de desnaturalización de esta fracción es del orden de 80 °C, valor característico de globulinas tipo 7S (Martínez y Añón 1996).

La globulina 11S es un hetero-oligómero de masa molecular próxima a 300 kDa, (Konishi y otros 1985, Barba de la Rosa y otros 1992b, Segura Nieto y otros 1994, Martínez y otros 1997, Marcone y Yada 1998). En esta fracción se encuentran, en condiciones no reductoras, especies de masa molecular de 56 a 29 kD, además de agregados de alta masa molecular; mientras que en condiciones reductoras estas son de 56 a 20 kD. Se ha detectado, además, una pequeña proporción de agregados mayores, estabilizados por uniones disulfuro (Marcone y Yada 1998, Martínez y otros 1997). La estabilidad térmica de esta proteína es elevada, con una Td de aproximadamente 95 °C (Marcone y otros 1998, Martínez y Añón 1996), comparable a los obtenidos para otras globulinas 11S como las de soja, avena o *Phaseolus lunatus* (Harwalkar y Ma 1987, Scilingo y Añón 1995, Chel-Guerrero y otros 2007).

Konishi y otros (1991) describieron una tercera fracción proteica que era extraída con agua en una etapa posterior a la extracción de globulinas y albúminas-1, denominándola albúminas-2. Esta se disuelve en agua o en soluciones salinas de baja fuerza iónica (NaCl < 0,1 N), posee un pl aparente entre 5 y 6 y está formada por 5 polipéptidos de masas moleculares 56, 36, 31, 26 y 22 kDa. El aminoácido más importante es el ácido glutámico/glutamina. Son más ricas en prolina, serina, arginina, histidina y fenilalanina y contienen menos lisina, metionina, cisteína y valina que la fracción albúminas. Martínez y otros (1997) aislaron una fracción proteica con características de extracción similares a las señaladas por Konishi y otros (1991) para la fracción albúmina-2 que denominaron globulina-p. El perfil de polipéptidos obtenido en condiciones no reductoras fue

similar al de la globulina 11S (Martínez y otros 1997) y, al analizarla en presencia de un agente reductor, se observó un perfil equivalente al informado para albúminas-2 (Konishi y otros, 1991). Esta proteína es capaz de formar y estabilizar agregados de alto PM mediante puentes disulfuro, 600-1500 kDa (Castellani 2000), sólo una pequeña proporción de sus moléculas está libre, para las cuales se ha determinado una masa molecular próxima a 300 kDa (Martínez y otros, 1997, Castellani 2000). Su estabilidad térmica es elevada, con una Td de 94,0 °C (Martínez y otros 1997), máxima en una zona de pH 6,0 a 8,0 (Castellani y otros 1998).

Las glutelinas constituyen la fracción más insoluble obtenida a partir de harina de amaranto y sólo son extraídas en condiciones drásticas de pH buffer borato de pH 10 o NaOH 0,1N y en algunos casos se agregan detergentes y/o agentes reductores para aumentar el rendimiento de extracción (Segura Nieto y otros 1994, Abugoch y otros 2003). Se caracteriza por la presencia de cantidades importantes de ácido glutámico/glutamina, seguido por arginina, leucina, fenilalanina y tirosina (Bressani y García Vela 1990). Su perfil electroforético es similar al descrito para la globulina-p (Martínez y otros 1997, Abugoch y otros 2003). En condiciones no reductoras las principales bandas se encuentran entre 50-67, 30-38 y 20-28 kDa, además de algunas de mayor PM que no entran en el gel de separación, estabilizados por uniones disulfuro (Abugoch y otros 2003). En presencia de un agente reductor como 2-mercaptoetanol, se encuentran polipéptidos de masa molecular similar a las de globulinas: 54-60 kDa, dos y tres bandas en las regiones de 35-38 kDa y 24-26 kDa, junto con una baja proporción de polipéptidos agregados (Barba de la Rosa y otros 1992a, Martínez y otros 1997).

La fracción prolaminas comprende a las proteínas solubles en soluciones alcohólicas. Gorinstein y otros (1991) encontraron que el rendimiento máximo de prolaminas (2,1%) se obtiene usando 55% de isopropanol y 5% de 2-mercaptoetanol, aunque Bressani y García-Vela (1990), informaron un rendimiento de 7,3% utilizando la misma concentración de alcohol sin el agente reductor. El valor máximo informado para el rendimiento de esta fracción fue de 11% (Duarte-Correa y otros 1986). Gorinstein y otros (1991) indicaron que está constituida por polipéptidos de 10 y 14 kDa y en menor proporción de 20 kDa, en tanto que Segura-Nieto y otros (1992) mostraron la presencia de tres bandas principales a 16, 18 y 22 kDa y dos bandas menores debajo de 12 kDa. Por otra parte, Barba de la Rosa y otros (1992a) informaron que en ausencia de un agente reductor se observan bandas de alto PM que se transforman en 67, 34 y 22 kDa en presencia de un reductor. Estas diferencias podrían explicarse en parte por los cambios que sufren las prolaminas de acuerdo con el solvente empleado para desgrasar las harinas (Segura-Nieto y otros 1994) y a las condiciones de extracción. La treonina y la leucina (Segura Nieto y otros 1992), al igual que los azufrados y la fenilalanina (Barba de la Rosa y otros 1992a), son los aminoácidos esenciales que se encuentran en mayor proporción.

El contenido de cenizas varía, entre las especies de amaranto, entre el 2,6% al 4,4%, con baja variabilidad entre especies. La Tabla 4 resume el contenido de algunos minerales presentes en diferentes granos. Los predominantes son el fósforo, el potasio, el calcio, el magnesio y el hierro, cuyo contenido generalmente es superior al de los granos de cereales. En cuanto a las vitaminas, en las tres especies de amaranto cultivables el contenido de riboflavina es superior al correspondiente a granos de cereales, en tanto que los contenidos de tiamina y niacina son menores.

*Tabla 4. Contenido de minerales y vitaminas en granos de diferentes especies de amaranto. Fuente: Bressani 1994*

	Amaranto		
	<i>Caudatus</i>	<i>Cruentus</i>	<i>Hypochondriacus</i>
<b>Minerales (mg/g )</b>			
Fósforo	570	556	600
Potasio	532	525	563
Calcio	217	242	244
Magnesio	319	344	342
Sodio	22	25	23
Hierro	21	26	53
<b>Vitaminas (mg/100g)</b>			
Tiamina	0,10-0,14	0,07-0,10	0,14-0,25
Riboflavina	0,19-0,32	0,19-0,23	0,29-0,32
Niacina	1,00	1,00-1,45	1,00-1,15
Biotina	51,3	42,5	---
Acido fólico	42,1	43,8	---
Acido ascórbico	3-7	4,5-4,9	2,8-3,0

El grano de amaranto en la actualidad es consumido en mayor proporción en Europa, México, Perú, Estados Unidos y algunas regiones de Asia bajo la forma de granos integrales, harina, copos, harina integral de amaranto tostado, amaranto reventado al estilo rosetas, polvo pregel, aceite, barras de cereal, pan y tortillas de amaranto y maíz. Debido al alto valor nutricional de la globulina 11S (FAO/WHO 1973, Barba de la Rosa y otros 1996) y a la posibilidad de contar con la secuencia del gen que codifica para esta proteína, diversos autores (Rascón-Cruz y otros 2004, Sinagawa-García y otros 2004) han expresado este gen en plantas transgénicas de maíz con el fin de mejorar su calidad proteica.

Diversos estudios han demostrado la presencia de componentes bioactivos en los alimentos, entre los que se pueden mencionar flavonoides, catequinas, licopenos, polifenoles, glucosinolatos, entre otros, con efectos de reducción de factores de riesgo de ECNT y un rol en la regulación inmunitaria (véanse capítulos I y III). En los últimos años también se reconoce el rol de las proteínas como componentes bioactivos, ya sea en forma directa o luego de su hidrólisis *in vivo* o *in vitro*. En el caso del amaranto, el consumo de las hojas, las semillas o productos derivados, presenta también beneficios para la salud humana. En principio, sus proteínas libres de prolaminas reactivas representan una alternativa para la alimentación de personas afectadas por la enfermedad celíaca (véase capítulo VIII). También se ha descrito la presencia de fitoquímicos que pueden ejercer efectos benéficos en humanos, tales como las lecitinas, los polifenoles, las

saponinas, los inhibidores de tripsina y los fitatos (Guzmán Maldonado y Paredes López 1998). Sin embargo, sólo en los últimos años se han comenzado a estudiar sus efectos en ensayos *in vitro* e *in vivo*. Se ha observado un efecto hipocolesterolémico en ratas alimentadas con dietas en base a semillas o productos extruidos de amaranto (Grajeta 1997, Guzmán Maldonado y Paredes López 1998, Czerwinski y otros 2004) y conejos (Plate y Areas 2002). Grajeta (1997) observó una reducción del 37% y 33% del colesterol total cuando se alimentaron ratas con amaranto total o desgrasado, respectivamente, en tanto que Plate y Areas (2002) mostraron una reducción del 50% en el nivel de colesterol total de conejos alimentados con granos extruidos. Los mismos animales con una dieta basada en caseína o con adición de aceite de amaranto redujeron su nivel de colesterol total en 14% y 18%, respectivamente. Estos autores también detectaron, luego de alimentar conejos con amaranto extruido, una reducción en el nivel de LDL y no así en el de HDL. El efecto hipocolesterolémico puede ser atribuido a la FD o las proteínas presentes en el amaranto. Hibi y otros (2003), haciendo uso de cultivos celulares de páncreas y un modelo animal constituido por ratones transgénicos, demostraron que el grano de amaranto o sus extractos, inhiben la producción específica de IgE para ovoalbúmina a través de la inducción de perfiles de citoquina Th1 dominante, tanto *in vivo* como *in vitro*, fenómeno que mostró su utilidad en los tratamientos de las alergias.

Una especie salvaje de amaranto, *A. spinosus* Linn., es ampliamente utilizada en China para el tratamiento de la diabetes. Mediante ensayos *in vitro*, Bi-Fong Lin y otros (2005) han mostrado que una proteína obtenida de las hojas, de masa molecular de 313 kDa, desarrolla una potente actividad inmunomoduladora y puede activar la proliferación de células B. Estos autores comprobaron que los extractos acuosos activan *in vitro* a los linfocitos B y, subsiguientemente, la proliferación de linfocitos T. Czerwinski y otros (2004) demostraron que ratas alimentadas con dietas ricas en colesterol (1%), que contenían harinas de avena y amaranto, provocan una reducción del nivel de lípidos en plasma respecto del nivel obtenido en animales con una dieta base que incluye caseína. Los niveles de reducción registrados fueron de 31% y 26% de colesterol total, de 50% y 36% de LDL y de 17% y 12% de triglicéridos, en los animales con dietas suplementadas con avena y amaranto, respectivamente. El efecto es función del contenido de compuestos bioactivos (flavonoides, fenoles totales y antocianinas), con actividad antioxidante. Estos resultados además indican que el amaranto puede ser una alternativa de interés para individuos que presentan hipercolesterolemia y, a su vez, son alérgicos a la avena.

En los últimos años se ha demostrado que animales alimentados con amaranto o derivados presentan una disminución en la absorción de colesterol y ácidos biliares, y cambios en la distribución de lipoproteínas y en el contenido de colesterol hepático (Berger y otros 2003). Existen, además, evidencias sobre la presencia de componentes que contribuyen al manejo de la diabetes, ya que producen una reducción de la glicemia (Kim y otros 2006a) y una modificación del perfil lipídico (Kim y otros 2006b). Si bien algunos de los estudios sugieren la posibilidad de la intervención de las proteínas de la semilla en beneficio de la salud humana, hasta el momento sólo una publicación muestra este efecto. Silva-Sánchez y otros (2008) han mostrado que la fracción proteica de glutelinas de amaranto posee un péptido que presenta la actividad descrita

para lunasina en soja. Vecchi (2007), Barrio y Añón (2007) y Tironi y Añón (2007) también han comprobado, mediante determinaciones *in vitro*, que aislados proteicos de amaranto presentan actividad antiproliferativa y antihipertensiva, así como antioxidante. Los hidrolizados obtenidos a partir de aislados proteicos tratados con alcalasa inhiben la enzima convertidora de angiotensina (ACE). El mayor valor de índice  $EC_{50}$  (concentración de péptido que provoca la disminución de la actividad ACE en un 50%) correspondió al hidrolizado con 65% de grado de hidrólisis ( $EC_{50} = 0,12 \pm 0,02$  mg), valor comparable al de otros péptidos y proteínas (Vecchi 2007). Tironi y Añón (2007) también comprobaron la existencia de componentes de naturaleza proteica con capacidad antioxidante *in vitro*, tanto en aislados proteicos como en hidrolizados obtenidos por acción enzimática. Los estudios demuestran que los aislados proteicos poseen compuestos capaces de inhibir la proliferación de cultivos de osteoblastos normales y de origen tumoral.

## Frutos secos

La denominación “frutos secos” es un nombre genérico que agrupa productos de diferente naturaleza. La mayoría de ellos pertenece al grupo de los frutos secos de árbol, como por ejemplo las almendras (*Prunus amygdalus*), avellanas (*Corylus*), nueces (*Juglans regia* - nuez persa o inglesa, *Juglans nigra* - nuez negra), pistachos (*Pistachia vera*), nueces de macadamia (*Macadamia integrifolia* y *Macadamia tetraphylla*), anacardos (*Anacardium occidentale*), pacanas (*Carya illinoensis*), nueces de Brasil (*Bertholletia excelsa*), piñones (*Pinus spp*) y castañas (*Castanea sativa* - castaña europea, *Castanea dentata* - castaña americana, *Castanea mollissima* - castaña china, *Castanea crenata* - castaña japonesa). Los cacahuets o maníes (*Arachis hypogaea*) también son considerados frutos secos, aunque pertenecen al grupo de las leguminosas.

Estos frutos han sido consumidos desde la antigüedad, debido a su valor nutritivo, organoléptico y a su efecto beneficioso frente a ciertas enfermedades. Actualmente se consumen como *snacks* o incluidos en productos de panadería y pastelería. En este caso, se presentan en diversas formas, se utilizan diferentes variedades y se someten a procesamientos distintos. Se pueden encontrar enteros (con o sin piel), en mitades, en láminas, bastones (forma alargada), granillo (trozos irregulares), harina y pasta. Su elevado contenido graso, como en las almendras, avellanas o nueces, no permite obtener una harina fina al molturarlas, generando pastas. Procesos como el pelado o el tostado modifican sus características y su uso genera productos con sabor más intenso. Cabe destacar que las nueces no suelen tostarse, debido a que se incrementa el grado de amargor. Existen alimentos en los cuales los frutos secos constituyen la base del producto, como por ejemplo la almendra en la elaboración de mazapán y turrón, o la castaña en la elaboración de marrón glacé. Otras formas de utilización son la adición directa a las masas y batidos, formando parte de pralinés y rellenos, o en decoración.

La incorporación de frutos secos a masas de pan y bizcocho modifica su reología en función de factores como el tipo adicionado, la concentración añadida (Gómez y otros 2006a, 2007a, Oliete y otros 2007) o el tipo de procesamiento (Gómez y otros 2006b). Las pruebas sensoriales reali-

zadas sobre nuevos productos enriquecidos con frutos secos han dado resultados satisfactorios (Estévez y otros 2003, Oliete y otros 2007, Gómez y otros 2007b), lo que supone una oportunidad para elaborar alimentos beneficiosos para la salud, a la vez que atractivos para el consumidor. Un aspecto importante a considerar en la utilización de estos productos es la necesidad de un sistema de conservación adecuado, debido a su tendencia al enranciamiento, originada en el elevado contenido graso, y a la absorción de agua, que afecta su textura. Los compuestos oxidados formados generan aromas y sabores a rancio que alteran el producto, tendencia que se acentúa con el tostado y la molienda. Para mejorar la conservación conviene almacenarlos bajo refrigeración, en envases opacos, con baja humedad relativa y a veces en presencia de antioxidantes como el tocoferol, que es especialmente usado en el caso de pastas.

Los frutos secos se caracterizan por su baja humedad y su elevado contenido en grasa, que implica un alto aporte energético. Excepciones son las castañas y los piñones de araucaria, que presentan mayor contenido de humedad y de CHO y menos grasas. Los valores más altos corresponden a las nueces de macadamia y pecanas (76% y 72%, respectivamente), seguido de las nueces de Brasil, las nueces, las avellanas (< 60%) y, por último, las almendras, los piñones, los pistachos y los anacardos (en torno al 50%) (USDA 2007). Las castañas y los piñones de araucaria presentan valores muy inferiores a los reportados en otros frutos secos (< 4%) (USDA 2007, Zuleta y otros 2006) y, en consecuencia, su aporte energético también es muy inferior (360-370 kcal/100 g). Los AG insaturados predominan frente a los saturados, que constituyen menos del 16%. En general, contienen más AG monoinsaturados, excepto en el caso de las nueces (9% monoinsaturados vs. 47% poliinsaturados) y los piñones (19% monoinsaturados vs. 21% poliinsaturados). Las nueces de macadamia, las avellanas y las pecanas destacan por su elevado tenor de AG monoinsaturados (> 40%). Los principales AG presentes en estos frutos son el oleico (C18:1n-9) y el linoleico (C18:2n-6). Es importante destacar que las nueces son uno de los vegetales con mayor contenido en AG omega-3, representado por el ácido  $\alpha$ -linolénico (18:3n-3).

Los frutos secos poseen un elevado contenido proteico, si se comparan con otros vegetales. Los piñones, las almendras y los pistachos poseen más del 20% de proteínas, mientras que las pecanas y nueces de macadamia no alcanzan el 10% (USDA 2007). Poseen un alto tenor de arginina (2-3 g/100 g), que es el precursor del óxido nítrico y ejerce efectos positivos sobre la salud cardiovascular (Tousoulis y otros 2002, Forstermann y Munzel 2006); sin embargo, son pobres en lisina. Las castañas también presentan una distribución en aminoácidos distinta a la del resto de estos frutos: elevados niveles de lisina, metionina y cisteína, siendo limitante el triptofano.

Las castañas aportan gran cantidad de CHO, alcanzando un 80%. También presentan valores elevados los piñones de araucaria (37%), los anacardos (33%) y los pistachos (28%). Las cifras más bajas corresponden a los piñones, las nueces, nueces de Brasil, nueces de macadamia y las pecanas, que oscilan entre el 12% y el 14%. Cabe destacar el contenido en FD de las castañas, las pecanas, las avellanas y las almendras (> 10%).

Estos frutos aportan calcio, cobre, magnesio, manganeso, fósforo, selenio y zinc, y son pobres en sodio. Destaca el contenido de calcio de las almendras, el potasio de los pistachos, el

manganeso de las avellanas y el selenio de las nueces de Brasil. Su mayor aporte de vitaminas es del complejo B, aunque también destaca la vitamina E, especialmente en las almendras y avellanas. El contenido de vitamina C es alto en las castañas, seguido muy de lejos por las avellanas. La provitamina A está presente en ciertas variedades de castañas y en los pistachos. El ácido fólico también se encuentra en cantidades importantes en algunos de estos frutos, en especial en las avellanas. Además de los minerales y vitaminas, es significativa la presencia de compuestos bioactivos como los fitoesteroles (normalmente en forma de  $\beta$ -sitosterol) y numerosos antioxidantes, de gran importancia debido a sus efectos sobre la salud.

Durante mucho tiempo, los frutos secos han sido restringidos o eliminados de la dieta por su elevado aporte calórico. Sin embargo, estudios recientes han demostrado los beneficios de su ingesta en trastornos cardiovasculares y diabetes. Estudios sobre la incorporación en la dieta de almendras (Spiller y otros 1992), avellanas (Masana y otros 2000), nueces de macadamia (Curb y otros 2000), pecanas (Rajaram y otros 2001), nueces (Iwamoto y otros 2000) o combinaciones de varios frutos secos (Berry y otros 1992, Singh y otros 1992, Jenkins y otros 1997, Bruce y otros 2000), coinciden en afirmar que bajan los niveles de colesterol LDL, por lo que puede afirmarse que reducen el riesgo de patologías cardiovasculares. El efecto se atribuye fundamentalmente a la cantidad y tipo de AG, el contenido en fibra, la presencia de arginina y ciertos micronutrientes como la vitamina E y el ácido fólico, además de los compuestos bioactivos como fitoesteroles, fenoles, flavonoides e isoflavonoides. También se ha comprobado que el aumento en el consumo de frutos secos reduce el riesgo de diabetes tipo 2 (Jiang y otros 2002). Estos productos tienen un contenido alto de FD, fundamentalmente insoluble, que ejerce un efecto de protección cardiovascular (Hughes 1991). Como se describe en el capítulo IV, la FD ayuda a regular el tránsito intestinal, previene el estreñimiento y reduce el riesgo de ciertos tipos de cáncer.

Existe la creencia generalizada de que los frutos secos favorecen el sobrepeso debido a su elevado valor energético. Sin embargo, investigaciones han demostrado que al sustituir parte de la ingesta calórica por estos frutos no se observa el esperado incremento del peso, ya que las calorías totales se mantienen constantes. Inclusive, en otros estudios en los que se los incluye como aperitivo o postre, tampoco se observa incremento de peso, a pesar de aumentar el aporte energético (Fraser 1999, Masana y otros 2000). Este hecho se debería a la presencia de fibra, que reduciría la absorción de grasas en el intestino, y/o a su efecto sobre el control del apetito y la saciedad.

A pesar de los beneficios de los frutos secos sobre la salud, existen personas especialmente sensibles que presentan alergia frente a ellos, es decir, una reacción del sistema inmune ante las proteínas presentes en estos productos. En los últimos años se ha detectado un incremento en la detección de este tipo de alergias y se cree que la presenta el 1% de la población. Aunque existen personas sensibles a todos ellos, son los cacahuetes o maní los que presentan una reacción más generalizada (Grundy y otros 2002). La incidencia depende de diversos factores, como la edad o la zona geográfica. La respuesta se traduce en náuseas, vómitos, diarrea, dolor estomacal, rinitis, picazón, entre otros síntomas. En casos más graves puede producirse un *shock* anafiláctico, con un descenso de la presión arterial, el estrechamiento de las vías respiratorias e hinchazón de la

lengua y, en caso extremos, la muerte. Estos síntomas pueden aparecer de forma inmediata o al cabo de pocas horas (Teuber y otros 2003). Para prevenir estos problemas, las personas sensibles deben evitar el consumo de estos productos, lo que avala la importancia de un etiquetado nutricional detallado de los alimentos.

Las aflatoxinas son sustancias cancerígenas producidas por determinados microorganismos como el *Aspergillus flavus* o el *Aspergillus parasiticus*, que pueden contaminar los frutos secos en determinadas condiciones ambientales. Los más sensibles son los cacahuetes, aunque pueden desarrollarse en los otros si las condiciones de almacenamiento no son las adecuadas, por lo que es fundamental extremar los cuidados y asegurar que el producto cumple con la legislación, dada la peligrosidad de estas sustancias (Muncharaz 2002).

## Leguminosas

Las leguminosas de grano abarcan a aquellas especies pertenecientes a la familia *Fabaceae* o *Leguminosae*, cuya utilidad primaria reside en las semillas. La mayoría de ellas pertenecen a la subfamilia *Papilionaceae*, aunque hay especies muy diferentes entre sí. Pertenecen a este grupo los garbanzos (*Cicer arietinum*), las lentejas (*Lens culinaris*), las judías, frijoles o porotos (*Phaseolus vulgaris*), las habas (*Vicia faba*) y los guisantes o lentejas (*Pisum sativum*). La soja (*Glycine max L. Merr.*) y el cacahuete o maní (*Arachis hypogaea*) son también importantes y se caracterizan por su elevado contenido graso. Otras leguminosas menos importantes para el consumo humano son las almortas o guijas (*Lathyrus sativus*), los altramuces o lupino (*Lupinus albus*, *L. angustifolius*, *L. mutabilis*, *L. luteus*), los fenogrecos o alholvas (*Trigonella foenum-graecum*), los yeros (*Vicia ervilia*) y las algarrobas (*Vicia monanthos*) (diferente de los frutos de los algarrobos *Ceratonia siliqua* y *Prosopis sp.*).

Las legumbres son muy atractivas desde el punto de vista nutricional y comercial, pero tradicionalmente han estado desprestigiadas por ser consideradas alimento de pobres, estar pasadas de moda o necesitar mucho tiempo de preparación (Schneider 2002). Además, se las ha caracterizado como poseedoras de sustancias antinutritivas que pueden dificultar la absorción de algunos nutrientes. Un aporte a su consumo es el desarrollo de nuevos alimentos elaborados con legumbres, y en tal sentido el enriquecimiento de productos de panadería y pastelería constituye un ejemplo. Con ellos se conseguiría aumentar el aporte nutricional para gran parte de la población, ya que son ampliamente aceptados y consumidos. Por otro lado, durante las etapas de elaboración, como el remojo o la cocción, gran parte de las sustancias antinutritivas se eliminan, desapareciendo los problemas que pudieran ocasionar. Por tanto, la elaboración de estos productos enriquecidos con legumbres permitiría mejorar las características nutricionales a bajo precio.

La adición de legumbres a productos de panadería mejora su calidad nutricional (Nmorka y Okezie 1983) principalmente por el incremento en el contenido y calidad proteica, ya que su elevado valor biológico (VB) es superior al de las legumbres y al de los cereales por separado, al complementar el perfil aminoacídico de los cereales, limitantes en lisina. Sin embargo, la adición

de legumbres a la masa afecta sus características y la calidad de los productos finales. Los cambios se relacionan con el incremento proteico debido a que, al parecer, la incorporación de proteínas exógenas provoca el debilitamiento de la red de gluten en la masa (Bloksma y Bushuk 1988), modificando las características del producto final. Singh y otros (1991) afirmaron que se establece una competencia entre las proteínas de las legumbres y las de los cereales por atrapar moléculas de agua, lo que también afectaría al comportamiento de las masas. Por último, la adición de legumbres ocasiona un aumento del contenido de enzimas proteolíticas, afectando la reología.

El enriquecimiento de pan con legumbres ha sido ampliamente estudiado. Se ha analizado el efecto del altramuz o lupino (Campos y El-Dash 1978, Lucisano y Pompei 1981, Wittig de Penna y otros 1987, Ballester y otros 1998, Dervas y otros 1999, Doxastakis y otros 2002, Pollard y otros 2002), garbanzo (Fernández y Berry 1989, Sing y otros 1991), judía (Lorimer y otros 1991a,b), guisante (Sadowska y otros 2003), haba (Finney y otros 1980) o lenteja (Morad y otros 1980). Además, se ha estudiado el efecto de la germinación de las legumbres (Finney y otros 1980, Sadowska y otros 2003), ya que durante ella se modifica la composición y disminuye la capacidad panificadora (Morad y otros 1980). También se ha estudiado el comportamiento de proteínas aisladas y concentrado de proteínas (Mizrahi y otros 1967, Thompson 1977, Dervas y otros 1999). El lupino, específicamente la especie *Lupinus albus*, es la leguminosa que parece tener mayor potencial para elaborar productos de panadería (Pollard y otros 2002). También se han desarrollado estudios con otros productos de panadería y pastelería, como por ejemplo bizcochos enriquecidos con harina de garbanzos (González-Salvador y otros 2006), *doughnuts* o donuts de harina de almortas (Rehman y otros 2007), galletas con harina de garbanzos y habas (Rababah y otros 2006), *muffins* y galletas con harina y proteína aislada de altramuces (Bez y otros 2005), o *spaghetti* con harina y proteína aislada de altramuces (Papoti y otros 2005). Para más información sobre estos temas véase Oliete y Gómez (2007). Estos estudios indican que es posible crear productos novedosos, de excelente calidad nutricional y organoléptica, mediante la incorporación de legumbres a productos de panadería y pastelería.

Las legumbres se caracterizan por un contenido en proteínas y CHO elevado y un contenido grasa bajo. Asimismo, destaca la presencia de sustancias bioactivas, que han sido clasificadas tradicionalmente como sustancias antinutritivas. Su valor energético está en torno a las 350 kcal/100 g (desde 333 kcal/100 g en las lentejas a los 364 kcal/100 g en los garbanzos) (USDA 2007). El mayor contenido proteico lo presentan las habas, con 26,12%, mientras que el menor corresponde a los garbanzos, con 19,30%, valores que duplican a los de los cereales. En comparación con el patrón de la OMS (1973), las leguminosas son deficientes en aminoácidos azufrados (cisteína y metionina), pero son ricas en ácido glutámico, ácido aspártico y arginina. Tradicionalmente, las preparaciones de legumbres se acompañan con cereales, complementando así sus perfiles de aminoácidos. Este maridaje supone un alimento de elevada calidad proteica, lo cual es importante en ciertos sectores poblacionales con dificultades para consumir productos cárnicos por razones económicas, culturales o religiosas.

El componente mayoritario de las legumbres es la fracción de CHO, con alrededor del 60% en peso, en la que predomina el almidón. El contenido de FD es cercano al 25%, aunque

en las lentejas alcanza un 30,5% y en los garbanzos es ligeramente inferior, con un 17,4% (USDA 2007). La composición de la FD varía en función de la localización: la testa, donde se encuentra la mayor parte, es rica en celulosa (35%-57%), pobre en hemicelulosa y pectina (Van Laar y otros 1999) y contiene lignina. Las paredes celulares, donde también hay cierta cantidad de FD, están formadas principalmente por pectinas (55%), con bajos contenidos de celulosa (9%) y glucanos (6%-12%) y carecen de lignina (Van Laar y otros 1999). Las legumbres se caracterizan por poseer ciertos oligosacáridos (esteaquiosa, rafinosa y verbascosa) que el humano no puede digerir, debido a la carencia de la enzima  $\alpha$ -galactosidasa. Estos azúcares son metabolizados por la flora del intestino grueso, generando gases como el dióxido de carbono, el hidrógeno y el metano (Rackis 1975). La flatulencia ocasionada es un factor de importancia social y malestar físico que está muy relacionada con el rechazo a estos productos.

El contenido lipídico de las leguminosas es bajo. Los garbanzos presentan el valor más elevado, en torno al 6%, pero el resto no supera el 2%. Predominan los AG insaturados frente a los saturados. Excepto en las habas, donde el más abundante es el  $\alpha$ -linoléico (C18:3n-3), en el resto de legumbres destaca el ácido linoleico (C18:2n-6). En general, la presencia de los ácidos oleico y linoleico alcanza al 65% del total de los AG presentes.

El potasio es el mineral que predomina en las legumbres, con valores que oscilan entre los 1406 mg/100 g de las judías y los 875 mg/100 g de los garbanzos. La cantidad de fósforo también es destacable, con valores en torno a los 400 mg. Otros minerales importantes son el magnesio, el calcio y el hierro (USDA 2007). Este último sólo es absorbido en un 10%, debido a la presencia de ácido fítico y oxalatos, que dificultan la eficacia de la absorción de los iones ferroso y férrico, la que se ve favorecida por la presencia de vitamina C y grupos sulfhidrilo. La absorción de calcio también se reduce por la presencia de ácido fítico, debido a la formación de fitato cálcico, que es insoluble y se elimina en las heces. Vitaminas importantes en las legumbres son el ácido fólico, la tiamina y la niacina (Pujol 1998).

Además de los nutrientes descritos, las legumbres contienen sustancias bioactivas que pueden producir ciertos efectos metabólicos a los individuos que las consumen habitualmente. Algunas de ellas se han definido como factores antinutritivos, aunque no siempre tienen efectos negativos sobre la salud. En este sentido, se ha demostrado el efecto beneficioso de los inhibidores de enzimas, las lectinas, los fitatos y oxalatos, los fenoles, flavonoides antocianos, isoflavonoides, flavonas, taninos condensados y las saponinas (Champ 2002). Algunos de estos compuestos, como por ejemplo los inhibidores de enzimas (proteasas y amilasas), las fitohemaglutininas o lectinas, los glucósidos cianógenos, los factores antivitaminas y los taninos condensados, son termolábiles y, en consecuencia, son poco importantes ya que se inactivan con el tratamiento térmico. En cambio, los factores termoestables, como los alcaloides, aminoácidos tóxicos, glucósidos de pirimidina, saponinas, flavonas e isoflavonas, fitatos y oxalatos, pueden ocasionar problemas a los consumidores. Los alcaloides, más abundantes en lupino, no son relevantes debido a su escasa presencia (> 10% de las semillas los contienen) y a su solubilidad en agua, por lo que se eliminan con el remojo. Algunos aminoácidos presentan cierta actividad tóxica, aunque están poco estudiados. Los aminoácidos tóxicos presentes en las almortas son los responsables del latirismo, enfermedad

que abarca dos síndromes, uno que afecta al sistema nervioso central (neurolatirismo) y otro que afecta a los huesos y al tejido conectivo (osteolatirismo) (Cohn 1995).

El neurolatirismo es causado por el  $\beta$ -N-oxalyl-L-diaminopropiónico (DOPA), que al parecer tiene un mecanismo de acción similar al del ácido glutámico, se intercambia por él y lesiona las neuronas a través de una sobre estimulación que ocasiona su muerte (Ludolf y otros 1987). Al respecto siguen desarrollándose estudios, porque en la aparición de la enfermedad también influiría la deficiencia de ciertos minerales, ya que no todas las personas expuestas lo desarrollan. Los síntomas -parálisis de los miembros inferiores, dolores e incontinencia urinaria- aparecen cuando el consumo de almortas constituye más del 30% de las calorías diarias durante 2 a 3 meses (AEP 2007). Al suspender su consumo desaparecen estos síntomas, por tanto su ingesta ocasional no es peligrosa, aunque en cualquier caso es conveniente que sea en pequeñas cantidades. El osteolatirismo es causado por el  $\beta$ -N-L-glutamino aminopropionitrilo, que inhibe los enlaces de las cadenas de colágeno y elastina, lo que produce músculos débiles y fragilidad en las paredes de los capilares sanguíneos y anomalías en huesos (Cohn 1995), afectando el crecimiento. Otra especie, el *Lathyrus silvestre*, contiene L-diaminobutírico, un aminoácido neurotóxico homólogo de la ornitina, que inhibe la ornitina transcarbamilasa, produciendo un error en el ciclo de la urea y, en consecuencia, una alta acumulación de amoníaco. Los síntomas son temblores, convulsiones y muerte.

Los glucósidos vicina y convicina, presentes en las habas, están relacionados con el fabismo, que consiste en la deficiencia genética de la enzima glucosa-6-fosfato deshidrogenasa. Esta deficiencia hace que ciertas sustancias, inocuas para la mayor parte de la población, produzcan la lisis de los eritrocitos generando anemia hemolítica aguda. La vicina y la convicina se digieren por acción de la  $\beta$ -glucosidasa, generando respectivamente divicina e isouramilo. En caso de fabismo, la lisis de los glóbulos rojos se debe probablemente a la oxidación irreversible del glutatión. Esta enfermedad se hereda a través del cromosoma Y, por lo que es mucho más frecuente en hombres. Existen dos alelos defectuosos, uno extendido por la cuenca del Mediterráneo, sobre todo por Sicilia o Rodas, y otro en África. Las saponinas también son glucósidos con posibles propiedades perjudiciales. Dada su doble naturaleza, hidrofóbica e hidrofílica, son capaces de interactuar con los ácidos biliares y el colesterol, formando complejos insolubles que afectan al metabolismo de las grasas (Champ 2002).

Las flavonas e isoflavonas, aunque tienen grandes beneficios para la salud, si se consumen en cantidades excesivas podrían interferir en la acción de ciertas hormonas, debido a su capacidad de unirse a los receptores de los estrógenos, lo que puede originar problemas de fertilidad y abortos (Champ 2002). La elevada cantidad de fitatos y oxalatos hace que la disponibilidad de los minerales presentes en las legumbres se vea reducida (Sandberg 2002). El ácido fítico tiende a reaccionar con cationes, especialmente Zn, Ca y Fe, formando complejos insolubles que son difíciles de digerir y absorber (Sandberg 2002). El contenido en ácido fítico disminuye durante la germinación, la fermentación y el tratamiento térmico también tiene cierto efecto reductivo. La unión del ácido oxálico con el calcio genera compuestos insolubles que dan lugar a cálculos renales (Marshall y otros 1972).

A pesar del poco reconocimiento social de las legumbres, han despertado gran interés no sólo por su buena composición nutricional, sino por sus efectos positivos en la prevención de ECNT, como los problemas cardiovasculares, la diabetes, la obesidad y el cáncer (Geil y Anderson 1994). Las legumbres poseen diversos componentes bioactivos como fibra, péptidos, almidón, oligosacáridos, isoflavonas, fosfolípidos y antioxidantes (Anderson y Hanna 1999). Los efectos de la FD sobre los niveles de lipoproteínas han sido ampliamente estudiados (Jones 2008). Se ha demostrado que la baja digestibilidad del almidón tiene importantes efectos sobre la hiperlipidemia, la diabetes y el cáncer de colon (Tharanathan y Mahadevamma 2003). El almidón de las legumbres se digiere muy lentamente, debido a su elevado contenido en amilosa y su empaquetamiento en los amiloplastos, por lo que gran cantidad de almidón resistente (AR) pasa al intestino grueso (Asp y otros 1996), donde es fermentado. En las legumbres destaca el alto contenido en ácido fólico y tiamina, que reducen la homocisteína en sangre (Sathe y otros 1984), que es un factor de riesgo cardiovascular (Welch y Loscalzo 1998). Las isoflavonas, especialmente abundantes en la soja, tienen efecto antioxidante, antitrombótico, antiinflamatorio, evitan la agregación de plaquetas y mejoran la salud vascular (Anderson y otros 2000). Además, se ha comprobado el efecto beneficioso de los minerales (Suter 1999) y de los oligosacáridos presentes en estos alimentos (Anderson y Hanna 1999).

Las legumbres presentan un índice glicémico (IG) bajo, debido a su aporte de FD y AR (Granfheldt y otros 1994). Se debe tener en cuenta que su alto tenor proteico favorece las interacciones proteína-almidón, disminuyendo aún más la respuesta glicémica (Geervani y Theophilus 1981). Por todo ello, constituyen un alimento beneficioso para personas diabéticas. Por otra parte, los inhibidores de amilasa podrían contribuir a controlar la diabetes y la obesidad, ya que se comprobó la disminución de la glicemia y el aumento de la insulinemia en ratas, perros y humanos (Puls y Keup 1973). Estos inhibidores ya se han comercializado, aunque no se han obtenido resultados satisfactorios (Champ 2002). Asimismo, pueden interferir en la absorción de algunos nutrientes, de las lectinas y del ácido fólico.

El *American Institute for Cancer Research* (AICR 2001) recomienda el consumo diario de 600-800 g de cereales, legumbres, raíces y tubérculos, como una de las quince indicaciones para disminuir el riesgo de cáncer. En este efecto tienen especial importancia el almidón y la FD. Como se describe en el capítulo IV, el AR aumenta el volumen fecal, disminuye el pH de las heces e incrementa la concentración de AG de cadena corta, reduciendo la posibilidad de desarrollar cáncer (Cassidy y otros 1994). La FD además tiene efecto prebiótico, ya que actúa como sustrato de la microflora presente en el intestino. Las bacterias la fermentan, lo que acelera el tracto intestinal y, por tanto, disminuye el riesgo de cáncer de colon (Mathers 2002). Además, otros componentes como oligosacáridos, minerales (Se, Zn) folatos, inhibidores de proteasas, saponinas, fitoesteroles, lectinas y fitatos también pueden proteger contra esta enfermedad si se consumen en cantidades suficientes (Mathers 2002).

Debido a los grandes beneficios del consumo de legumbres para la salud, debería fomentarse una mayor incorporación en la dieta de este grupo de alimentos. La inclusión de legumbres en los productos de panadería y pastelería permitiría mejorar el estado nutricional de la población, contribuyendo a prevenir ECNT.

## Maíz

El maíz es una gramínea que se cree es originaria del Valle Central de México. Su nombre es de origen indio caribeño que significa "lo que sustenta la vida". En las civilizaciones mexicanas previas a la conquista, además de formar parte de la dieta, se utilizaba en las festividades de carácter religioso. Actualmente es el cereal de mayor producción mundial, siendo Estados Unidos el principal exportador, seguido por Argentina, mientras que México es el país con mayor consumo anual per cápita (aproximadamente 128 kg). En México y Mesoamérica el maíz es transformado, por medio del proceso de nixtamalización, en tortilla, el alimento en el que las poblaciones de estos países basan su dieta y se establece como la principal fuente de calcio, proteínas y calorías (Moita y otros 2007). Se consume acompañando a las comidas en sustitución del pan y ha sido definida como un pan plano, aplastado y redondo elaborado con maíz.

La nixtamalización del grano de maíz es un proceso tradicional mexicano desarrollado por las civilizaciones precolombinas que aún es utilizado, ya que por él se puede obtener la masa y posteriormente elaborar las tortillas. Es un proceso de cocción a 80 °C en una solución de cal con un pH cercano a 13, e involucra tiempos de remojo prolongados. El tratamiento tiene varias funciones, entre las que se cuenta la gelatinización del almidón, la saponificación parcial de los lípidos y la solubilización de algunas proteínas que rodean los gránulos de almidón e imparten las propiedades reológicas y de textura características de la masa (Mendez-Montalvo y otros 2006). Por la severidad de las condiciones en que ocurre, puede esperarse que algunos de los nutrientes presentes se modifiquen o se pierdan total o parcialmente.

Durante la transformación del maíz en tortillas, se ha informado de la disminución de sustancias extraíbles con éter (33% en el maíz amarillo y 43% en el blanco) que puede atribuirse a la pérdida del pericarpio, la capa de aleurona, el pedicelo, parte del germen y del grano que contienen sustancias solubles en éter (Cravioto y otros 1945, Bressani 1958). Pflugfelder y otros (1988) comprobaron pérdidas del 11,8 % al 18,1 % e indicaron que se podía deber parcialmente al manejo del grano en las fábricas. Martínez-Flores y otros (2002a, 2006) también comprobaron pérdidas de lípidos, de alrededor del 10% y encontraron que la concentración de cal usada en el proceso podía afectar no sólo la cantidad, sino sus factores de calidad. De acuerdo con Bedolla y otros (1983), los valores de extracto etéreo se modifican desde 5,0% en el maíz, a 3,1% en el maíz cocido, hasta llegar a 3,6% en las tortillas. Durante el proceso, alrededor de la mitad de los lípidos se liberan y forman emulsiones.

Las pérdidas de FD por la nixtamalización alcanzan aproximadamente al 31% en el maíz amarillo y al 46% en el maíz blanco, atribuibles a la eliminación del pericarpio durante el lavado y al arrastre del pedicelo. También hay una modificación de la FD en el paso de masa a tortillas (Saldana y Brown 1984). Reinhold y García (1979) hallaron un aumento importante de fibra neutro detergente (FND) y de fibra ácido detergente (FAD) en las tortillas, con valores del 6,60% y 3,75% sobre el peso en seco, respectivamente, mientras que Bressani y otros (1989) reportan un 10,8% de FND en el maíz y un 9% en las tortillas, así como un 2,79% y un 3% de FAD, respectivamente. En cambio, la masa mostró un contenido promedio de FND de 5,97 y uno de FAD de 2,98%

(Reinhold y García 1979). Bressani y otros (1989) no encontraron diferencia en lo que respecta a la hemicelulosa: la masa contenía un 3,18% y las tortillas un 2,89%. El maíz contenía un promedio de 8% de hemicelulosa y las tortillas 6%, en tanto que los valores de la lignina eran 0,13% y 0,15%. Empleando el método de Asp y otros (1983), Acevedo y Bressani (1990) observaron una disminución de FD insoluble en la transformación del maíz crudo (13%) en masa (6%) y un aumento en la transformación de masa en tortillas (7%). La FD soluble aumentó de 0,88% en el maíz crudo a 1,31% en la masa, con un incremento ulterior a 1,74% en las tortillas. El aumento puede deberse a la cocción y tostado, situación que también se ha descrito para productos de trigo horneado (Ranhotra y Gelroth 1988).

Al transformarse el maíz en tortillas mediante la cocción alcalina, la FD total disminuye en la fase de la masa, pero aumenta en las tortillas hasta niveles ligeramente inferiores a los del maíz sin tratar. Los niveles de FD de las tortillas ascienden por término medio al 10% del peso en seco. Si una persona consume unos 400 g de tortilla, la ingesta total de FD será de 40 g, valor considerablemente mayor que el de la ingesta recomendada, por lo que se la puede considerar una buena fuente de FD. Quizá un efecto negativo pueda darse en niños de corta edad, que por el consumo de tortillas puedan estar ingiriendo cantidades altas de FD, disminuyendo la disponibilidad de hierro, aunque este efecto puede revertirse si el tratamiento alcalino del maíz se da por el proceso de extrusión (Hazell y Johnson 1989).

El almidón representa del 86% al 89% del endospermo del grano, y los cambios que ocurren durante la nixtamalización y cocción de las tortillas se deben a su gelatinización y solubilización. Mendez-Montalvo y otros (2006) señalan que el perfil de la gelatinización del almidón nixtamalizado, en pruebas viscoamilográficas, muestra una viscosidad máxima menor que la de su contraparte en ausencia de cal, fenómeno atribuible a la solubilización de cadenas de amilosa. La retrogradación del almidón también mostró diferencias, ya que ocurre con menores valores de entalpía. En la nixtamalización el almidón digerible disminuye y el AR aumenta en relación con la retrogradación, con las implicaciones de que, a mayor contenido de AR, menor es el IG del producto (Bello-Pérez y otros 2006).

Las pérdidas de nitrógeno durante la nixtamalización ascienden a 5% y 10% en el maíz amarillo y en el blanco, respectivamente. Aunque las tortillas pueden tener, a humedad igual, un contenido ligeramente superior de proteínas que el maíz original, ello puede deberse al efecto de concentración, dado que se pierden azúcares solubles del grano. La solubilidad de las diversas fracciones de proteínas del maíz se modifica, aumentando la fracción de nitrógeno insoluble en las tortillas (61,7%) con respecto de la del maíz (9,4%) (Bressani y otros 1958). Otros autores han informado resultados con la misma tendencia, aun para el maíz de alta calidad proteínica (QPM) (Ortega y otros 1986, Sproule y otros 1988). Una de las fracciones proteínicas del maíz, la glutelina, incrementa su solubilidad y, con ello, la disponibilidad de sus aminoácidos (Paredes-López y Saharópulos-Paredes 1983), mientras que la zeína, a pesar de volverse menos soluble, mejora su VB. Lunven (1968), observó una pérdida importante de lisina y triptofano durante el tratamiento del maíz común en agua de cal. Ortega y otros (1986) hallaron una pequeña pérdida de triptofano en las tortillas de maíz común (11%) y QPM (15%), con pérdidas mínimas

de lisina en ambos. Bressani y otros (1990), en cambio, encontraron pérdidas más elevadas de estos aminoácidos en el maíz común y en el QPM variedad Nutricia transformado en tortillas, mientras que Rojas-Molina y otros (2008) identificaron que a las 5 h de reposo en la solución alcalina, la pérdida de lisina y triptofano del QPM alcanza un 36% y 38,7%, respectivamente. Buscando optimizar el procesamiento de variedades QPM para disminuir la pérdida de estos aminoácidos, Milan-Carrillo y otros (2004), recomiendan un tiempo de nixtamalización de 31 min, una concentración de cal de 2,7 g/L y un tiempo de reposo de 8,1 h. Serna-Saldívar y otros (1987), experimentando con ganado porcino al que se había colocado una sonda en el íleon, encontraron que la digestibilidad de la mayoría de los aminoácidos esenciales en ese nivel del tracto intestinal era superior en el caso del maíz cocido en agua común respecto al agua de cal. La digestibilidad de las proteínas disminuyó en forma leve, posiblemente a causa del tratamiento con calor (Bressani y otros 1990).

Otros investigadores han afirmado que durante la elaboración o transformación del maíz a tortilla, la existencia de interacciones hidrofóbicas, la desnaturalización de las proteínas y su degradación probablemente dan lugar a cambios de su solubilidad que podrían influir en la liberación de aminoácidos durante la digestión enzimática (De Groot y Slump 1969, Sanderson y otros 1978). Martínez (1997) realizó estudios probando el maíz crudo y las tortillas como único alimento en ratas, concluyendo que la nixtamalización mejora el valor nutritivo, ya que se observó un mayor PER (razón de eficiencia proteica), lo cual concuerda con lo señalado por Bazúa y Guerra (1980).

Las diferencias entre maíz amarillo y blanco (endospermo suave y duro, respectivamente) en la pérdida de sus diferentes componentes, han sido explicadas por Salinas y otros (2003), quienes concluyeron que el maíz duro sufre mayores modificaciones por la nixtamalización debido a que se requiere de un mayor tiempo de proceso para alcanzar las características adecuadas.

La nixtamalización puede tener repercusiones toxicológicas, especialmente debido a que en los procesos térmico alcalinos puede producirse lisinoalanina (LAL), compuesto nefrotóxico (daño a las células del riñón), cuya presencia indica una reducción de la disponibilidad de aminoácidos esenciales y una disminución en la digestibilidad de las proteínas (Ferrer y otros 1999). En un estudio conducido por De Groot y Slump (1969), donde se aplicó un tratamiento térmico alcalino a las proteínas, se encontró la producción de péptidos como la LAL, la lantionina y la ornitiolanina. Sanderson y otros (1978) descubrieron también que se formaban lantionina y ornitina (agente mutagénico) durante la cocción alcalina. Asimismo, se ha encontrado presencia de LAL en productos comerciales de harina para masa, tortillas y envolturas de tacos en concentraciones de 480, 200 y 170 µg/g, respectivamente (Sternberg y otros 1975). No hay mayores datos sobre el contenido de LAL en las tortillas, y la USDA (2002) ha calificado como sin riesgo el consumo de LAL de 1,5 mg/kg de peso corporal/día. Sugiere además el control en los productos con riesgo, de tal manera que no contengan más de 500 mg/kg de LAL total ni más de 10 mg/kg de LAL libre. Es difícil comentar la posibilidad del impacto de la presencia de LAL en las tortillas, ya que no se cuenta con datos suficientes; sin embargo, si las concentraciones encontradas en tortillas son del orden de magnitud que Stenberg y otros (1975) han señalado, se estaría por debajo de los límites recomendados por la USDA (2002).

En cuanto a las cenizas, cabe esperar un aumento por la adición de la cal que se utiliza para la cocción del maíz (Saldana y Brown 1984, Ranhotra 1985, Mora-Escobedo y otros 2004). Por ello, el calcio es el mineral que se encuentra en mayor proporción. Sin embargo, según Pflugfelder y otros (1988), ello dependerá de los niveles de cal adicionados, las temperaturas de cocción y el tiempo de reposo y las características del maíz. La penetración del calcio en el grano de maíz durante el remojo, después de la cocción alcalina, es un proceso cinético gobernado por fenómenos de difusión (Fernández y otros 2002, Gutiérrez y otros 2007), siendo la mayor parte retenida en el germen y el pericarpio. El calcio difunde principalmente por el pericarpio, el endospermo y el germen, y el estado físico del grano puede afectar el proceso (Fernández-Muñoz y otros 2004).

La concentración de otros minerales depende de la pureza de la cal empleada y del tipo de molienda utilizado (Bressani y otros 1989, 1990). Datos sobre el contenido de calcio y otros minerales de las tortillas elaboradas por diferentes métodos, en relación al maíz, pueden consultarse en FAO (1993). De interés es el hecho que la proporción entre el calcio y el fósforo en el maíz es cercana a 1:20, y después de nixtamalizado pasa a ser casi 1:1 en la tortilla. Diversos estudios de biodisponibilidad, llevados a cabo con animales por Braham y Bressani (1966), mostraron que había menos calcio disponible en el maíz tratado en agua de cal (85,4%) que en la leche desnatada o descremada (97%). Esto es importante, sobre todo si se considera que, para algunos grupos de la población mexicana, la principal fuente de calcio dietético proviene de la tortilla. Se estima que un adulto puede cubrir aproximadamente el 37% de su requerimiento total de calcio al consumir unas 10 tortillas (Paredes-López y Saharapulos-Paredes 1983, Serna-Saldívar y otros 1990).

La biodisponibilidad del calcio puede aumentar si se suplementa el maíz nixtamalizado con sus aminoácidos limitantes, lisina y triptofano. Por otra parte, Poneros y Erdman (1988) han confirmado la elevada biodisponibilidad del calcio de las tortillas con o sin adición de ácido ascórbico. El descubrimiento de que una mejor calidad de las proteínas del maíz la favorece es una motivación para producir comercialmente QPM destinado a las personas cuya dieta se basa fundamentalmente en el maíz. Rosado y otros (2005a) encontraron que la absorción del calcio es alta, y que la cantidad absorbida está en función de su concentración. Para mejorarla, sobre todo en poblaciones que no consumen otras fuentes del mineral diferentes de la tortilla, Hambidge y otros (2005) proponen el uso de variedades de maíz de bajo contenido en fitatos. Por otra parte, Martínez-Flores y otros (2002b) estudiaron el efecto de una alimentación basada en tortillas elaboradas con diferentes procesos sobre las propiedades en fémur de animales de prueba y encontraron que la dieta de tortillas nixtamalizadas (por método tradicional o por extrusión), produjo fémures más fuertes y de mayor peso que los obtenidos con maíz sin procesar.

En cuanto a las vitaminas, Figueroa y otros (2003) señalan pérdidas de alrededor de 50%, especialmente en el contenido de tiamina (52% a 72%), riboflavina (28% a 54%) y niacina (28% a 36%) (Bressani y otros 1961). En el maíz amarillo se pierde del 15% al 28% del  $\beta$ -caroteno (Cravioto y otros 1945, Bressani y otros 1958). Bressani y otros (1961) mencionan que la cantidad de niacina asimilable del maíz tratado en agua con cal es ligeramente superior a la del grano de maíz. Pearson y otros (1957) han demostrado que la cocción en agua común tiene el mismo efecto, es decir, aumenta la disponibilidad de niacina. Bressani y otros (1961) hallaron que la digestión enzimática *in vitro* liberaba toda la niacina

en el maíz no tratado, al igual que en las tortillas, y llegaron a la conclusión que la diferencia entre el maíz crudo y el nixtamalizado, en lo que se refiere a su actividad biológica y acción pelagragénica, se debía más a las diferencias de equilibrio de aminoácidos que a la niacina ligada. El tratamiento alcalino mejora el equilibrio de los aminoácidos, como demostraron Cravioto y otros (1952) y Bressani y otros (1958). Otros investigadores han encontrado que los animales de experimentación se desarrollan mejor si se les alimenta con maíz sin tratar. En experimentos con gatos, que no pueden transformar el triptofano en niacina, Braham y otros (1962) demostraron que la niacina del maíz crudo y del tratado con cal se utilizaba en igual medida, lo que indicaba que el tratamiento con cal no influía en la disponibilidad de la niacina. Estudios más recientes señalan que esta se encuentra en forma no disponible de niacinógeno (Koetz y Neukom 1977, Wall y Carpenter 1988), y con el tratamiento térmico-alcalino se libera, haciéndose biodisponible. El maíz crudo contiene 26 µg de niacina/g, pero solamente 0,4 µg como ácido nicotínico libre, mientras que la tortilla contiene 11,7 µg de ácido nicotínico/g (Wall y Carpenter 1988).

Los cambios en el valor nutritivo del maíz, en especial en las proteínas, durante la transformación a tortillas, han sido estudiados en diversos bioensayos (Martínez 1997). En todos los casos se ha encontrado que la calidad de las proteínas es ligeramente mayor en las tortillas que en el maíz. El patrón de aminoácidos de las tortillas no es superior al del maíz (FAO 1993); sin embargo, hay un incremento en el VB que se explica por el aumento de la disponibilidad de aminoácidos esenciales. Estudios sobre la suplementación del maíz nixtamalizado con los aminoácidos limitantes (lisina y triptofano), mostraron que para el primer caso se obtuvo un incremento en el PER en función de la suplementación (Bressani y otros 1963), mientras que para el maíz crudo no hubo variación. La adición de lisina y triptofano a la harina de maíz nixtamalizado no afecta sus propiedades sensoriales (Waliszewski y otros 2004). Por otro lado, hay publicaciones que muestran que la digestibilidad *in vitro* de la proteína del maíz disminuye por efecto de la nixtamalización (Ortega y otros 1986, Serna-Saldívar y otros 1987, 1988).

La baja proporción de proteína en la tortilla (8%) y su deficiencia de lisina y triptofano, han llevado a proponer la adición de leguminosas y oleaginosas, como la soja y derivados, buscando incrementar su contenido proteínico y mejorar su balance de aminoácidos. Sin embargo, como es un alimento de consumo cotidiano, ligeros cambios en sus propiedades sensoriales pueden producir un rechazo, así que sólo es posible la adición de menos de 10% de soja o sus derivados (Del Valle y Villaseñor 1974, Franze 1975, Green y otros 1976, Waliszewski y otros 2002). Figueroa y otros (2003) mencionan que con una adición de 4% de harina de soja desgrasada se logra un incremento de 3% en la proteína de la tortilla, el nivel de minerales aumenta, de tal manera que se puede cubrir el 100% del requerimiento de hierro y el 77% del calcio. También podría cubrirse el 100% de las vitaminas hidrosolubles, con excepción de la niacina. En la evaluación de estos cambios se evidenció un mejor crecimiento de animales experimentales y un mejor desarrollo del esqueleto. La adición de vitaminas a la harina nixtamalizada no aporta los beneficios encontrados al adicionar la soja, aunque es importante mencionar que en todos los tratamientos donde se incluyó la soja, el contenido proteínico era significativamente mayor que el de las tortillas normales.

En virtud de que la tortilla es un producto de amplio consumo popular, se le ha utilizado como vehículo para llevar a la población micronutrientes a través de programas de fortificación, buscando cubrir deficiencias que pueden afectar el estado nutricional de los individuos, que se manifiestan en retrasos en el crecimiento, una mayor susceptibilidad a enfermedades y la disminución en la capacidad cognitiva (Rosado y otros 1999). Dichos programas se han enfocado a las harinas nixtamalizadas industrializadas, a las que se agrega una premezcla de vitaminas y minerales (tiamina, riboflavina, niacina, ácido fólico, hierro y zinc), con un costo de alrededor de 0,0018 US\$ /kg de harina de maíz. Rosado y otros (2005b), cuantificaron las pérdidas de vitaminas durante el almacenamiento de las harinas, buscando hacer recomendaciones para una buena práctica de fortificación. Encontraron que, después de noventa días de almacenamiento, la riboflavina es más estable que la tiamina, con pérdidas de 10% y 24% respectivamente, mientras que el zinc permaneció sin cambios y se mantuvo un 95% del hierro adicionado. Las mayores pérdidas de vitaminas (de 43 a 52%), se alcanzaron durante la cocción de las tortillas, no así en los minerales, los cuales no sufrieron cambios. Hotz y otros (2005) estudiaron la absorción de diversas fuentes de zinc en la fortificación de tortillas, evaluando una dieta típica rural que incluía además frijol, salsa de chile y tomate, leche con café instantáneo y azúcar. En todos los casos se tuvo una media de absorción de zinc de 11%, sin efecto por la presencia de EDTA y sin diferencias entre la forma soluble ( $ZnSO_4$ ) y la insoluble (ZnO). Actualmente, en México la fortificación de las harinas nixtamalizadas es una práctica cotidiana, gracias a un acuerdo entre el gobierno y la industria harinera. El impacto de la medida ha comenzado a expresarse en la reducción de enfermedades diarreicas infantiles (por carencia de Zn) y menor prevalencia de anemia en niños menores de cinco años (Sánchez y otros 2005).

## Soja

La soja (*Glycine max L.*), una leguminosa dicotiledónea originaria de Asia, es un cultivo extensamente utilizado para consumo humano desde hace 2000 años (Puppo y otros 2007). Su procesamiento moderno incluye la remoción de aceite por extracción con solventes y la torta residual, de gran calidad, se utiliza para consumo humano y animal. En el mercado se encuentran disponibles diferentes materias primas obtenidas de la soja (Tabla 5) (Perkins 1995). La torta resulta de la extracción del aceite de las escamas de soja y se puede obtener con cáscara, que ayuda a aumentar el contenido de FD de la harina, o sin cáscara. La molienda y el tamizado de la torta seca producen la harina no desgrasada, que con la eliminación del aceite residual permiten obtener la harina desgrasada, a partir de la cual se obtienen los concentrados y los aislados proteicos.

*Tabla 5. Composición proximal de la soja y productos derivados (g/100 g producto). Fuente: Perkins 1995*

Producto	Humedad	Proteínas	Lípidos	Fibra	Cenizas
Soja	11,0	37,9	17,8	4,7	4,5
Harina desgrasada con cáscara	10,4	44,0	0,5	7,0	6,0
Harina desgrasada sin cáscara	10,7	47,5	0,5	3,5	6,0
Harina entera no desgrasada	5,0	44,3	21,0	2,0	4,9
Harina desgrasada	7,0	54,9	0,8	2,4	6,0
Harina enriquecida en lecitina	5,5	49,9	15,5	2,1	5,0
Concentrado proteico	7,5	66,6	-	3,5	5,5
Aislado proteico	5,0	93,1		0,2	4,0

Las proteínas de soja se clasifican sobre la base de su solubilidad en albúminas (solubles en agua) y globulinas (solubles en soluciones salinas). La fracción globulinas representa el 80% de las proteínas totales, son solubles a pH > 8 y precipitan a pH 4,5 (pl), está compuesta por las globulinas 7S y 11S (Utsumi 1992, Utsumi y otros 1997). Tienen bajo contenido de metionina y cistina y están localizadas en cuerpos proteicos, son hidrolizadas durante la germinación. La globulina 7S o  $\beta$ -conglucina es una glicoproteína trimérica formada por tres subunidades:  $\alpha$ ,  $\alpha'$  y  $\beta$  (PM 68; 72 y 52 kDa, respectivamente) que se caracterizan por poseer determinantes antigénicos comunes (Thanh y Shibasaki 1976, 1978). La glicina o globulina 11S, en tanto, es una proteína hexamérica (AB<sub>6</sub>), formada por cinco clases diferentes de subunidades AB (PM 58-69 kDa), que en condiciones reductoras dan origen a polipéptidos ácidos y básicos (Nielsen, 1985). Las proteínas del suero son solubles en todo el rango de pH. Están presentes en el sobrenadante de la precipitación isoelectrica de las globulinas de reserva, son de bajo PM, biológicamente activas (numerosas enzimas e inhibidores enzimáticos), localizadas en el resto de la célula y tienen un alto contenido en metionina y cisteína (Sorgentini y Wagner 1999). Por ultracentrifugación en gradientes de sacarosa se clasifican en 4 fracciones: 2S, 7S, 11S y 15S (Pearson 1983). La fracción 2S representa el 20% del total de proteínas y presenta solubilidad a pH 4,5 (Utsumi y otros 1997). Está compuesta por inhibidores de tripsina: Bowman-Birk (PM 7,8 kD) y de Kunitz (PM 21,5 kD), citocromo C,  $\alpha$ -conglucina y proteasas (Catsimpoalas y Ekenstam 1969; Wolf 1970). La 7S (35% del total de proteínas) está compuesta por lectina (o hemaglutinina), lipoxigenasas, amilasas, y  $\beta$  y  $\gamma$ -conglucinas (Nielsen 1985). La fracción 11S, mayoritaria (35%) es la glicina, y la 15S son polímeros de esta última (Wolf 1970). Las proteínas de soja se utilizan como suplementos, en forma de aislados proteicos y en la preparación de alimentos procesados debido a su alto valor nutricional (sólo son deficientes en aminoácidos azufrados) y sus buenas propiedades fisicoquímicas y funcionales, por ejemplo su capacidad de emulsificación y formación de geles y espumas (Utsumi 1992, Utsumi y otros 1997, Puppo y otros 2007).

El valor nutricional de la soja y sus productos está dado por el contenido de nutrientes y se reduce por la presencia de antinutrientes, que disminuyen su utilización. El aporte energético de 100 g de porotos de soja se debe fundamentalmente a las proteínas y los lípidos (los oligosacáridos y polisacáridos son prácticamente indigeribles) y corresponde a 360 kcal/100 g. Las proteínas, de elevado VB, son importantes para la síntesis de tejido corporal. Poseen un elevado contenido de lisina, en comparación con los cereales (Tabla 6). Sin embargo, esta proteína es limitante en los aminoácidos azufrados cisteína y metionina, por lo que se complementa con los cereales. Mientras las proteínas de huevo tienen un VB de 94 y las de leche de 82, las de soja tienen un VB de 75. Su digestibilidad es del 78%, ya que el poroto posee un alto contenido en FD, que disminuye su utilización (Cheftel y otros 1989). La calidad de la proteína de la harina de soja se puede expresar en los valores de PER entre 2,2 y 2,3, bastante altos comparados con el de la caseína, empleada como estándar, que es 2,5 (Pearson 1983). Otra forma de expresión de calidad es la utilización proteica neta (NPU): los huevos y la leche tienen un NPU de 100%, mientras que para la soja el valor correspondiente es de 70%. La Tabla 6 muestra valores de calidad proteica de la soja, los que se modifican en la medida que se analizan los subproductos como las harinas, los concentrados y aislados proteicos, que pueden llegar a tener una calidad proteica del 100%. Cualquiera sea la proteína que se tome como patrón, siempre la proteína de la leche y de la carne es un 15% a 20% de mejor calidad que la de la soja adecuadamente inactivada. La Tabla 7 muestra la relación de aminoácidos esenciales para diferentes ingredientes de soja, y se aprecia que no existen grandes diferencias en su composición según el tipo de ingrediente.

Tabla 6. Calidad proteica de la soja en relación con otros alimentos. Fuente: Roisinblit 2003

Aminoácido esencial (mg/g proteína)	Leche	Huevo	Carne vacuna	Trigo	Arroz	Soja	NAS 1980
His	27	22	34	25	26	28	17
Leu	47	54	48	35	40	50	42
Isoleu	95	86	81	72	86	85	70
Lis	78	70	89	31	40	70	51
Met + Cis	33	57	40	43	36	28	26
Fen + Tir	102	93	80	80	91	88	73
Tre	44	47	46	31	41	42	35
Tri	14	17	11	12	13	14	11
Val	64	66	61	47	58	53	48
Proteína (%)	3,5	12	18	12	7,5	40	
CAA	94	100	100	56	73	100	
PDCAAS	95	97	94	41	56	78*	
PER	3,1	3,9	3	1,5	2	2,3*	

\* Porotos de soja inactivados por calor

# Datos obtenidos por el Centro Regional Pampeano (CEMPAM) y el Centro de Investigación de Tecnología de Industrialización de Granos (CEIGRA), Argentina.

CAA: Cómputo Aminoacídico, PDCAAS: Cómputo de Aminoácidos Corregido por la Digestibilidad de la Proteína, PER: Relación de Eficiencia Proteica.

Tabla 7. Contenido de aminoácidos esenciales de diferentes ingredientes de soja (g/100 g proteína). Fuente: Pearson 1983

Compuesto	Harina	Concentrado proteico	Aislado proteico
Isoleucina	4,7	4,8	4,9
Leucina	7,9	7,8	7,8
Lisina	6,3	6,3	6,4
Metionina	1,4	1,4	1,3
Cisteína	1,6	1,6	1,3
Fenilalanina	5,3	5,2	5,4
Tirosina	3,8	3,9	4,3
Treonina	3,9	4,2	3,6
Triptofano	1,3	1,5	1,4
Valina	5,1	4,9	4,7

Los CHO de la soja se clasifican en solubles e insolubles. Los primeros son mayoritariamente oligosacáridos como la sacarosa, rafinosa, estaquiosa y verbascosa y polisacáridos solubles, incluyendo la FD (principalmente pectinas). Estos oligosacáridos, responsables de la flatulencia, no están presentes en los concentrados y aislados proteicos. Sin embargo, pueden actuar como prebióticos, compuestos no digeribles que modifican el equilibrio de la microflora intestinal, estimulando el crecimiento y/o actividad de microorganismos beneficiosos en el colon (Gibson y Roberfroid 1995). Entre ellos están los disacáridos (lactulosa, lactitol), oligosacáridos (fructooligosacáridos o FOS, galactooligosacáridos) y polisacáridos (inulina y almidón no hidrolizable). Estos sirven de medio de intercambio con las bifidobacterias, fomentando su actividad, las mismas que a su vez aportan sustancias más simples y mejor asimilables. Los CHO insolubles son hemicelulosa, celulosa, lignina, pectinas insolubles y otros polisacáridos no digeribles, por lo que constituyen la FD insoluble (Pearson 1983). La cáscara de la soja contiene la mayoría (87%) de la FD del poroto.

En el aceite de soja crudo se encuentra un 88% de lípidos neutros, 10% de fosfolípidos y 2% de glicolípidos (Perkins 1995). Contiene un alto nivel de insaturación (> 81% de AG insaturados). Está compuesto por niveles altos de ácido linoleico (51%) y ácido  $\alpha$ -linolénico (7-8%), responsables de la reversión de su sabor y olor. Permanece líquido en un amplio rango de temperaturas y puede ser hidrogenado selectivamente para disminuir el contenido de  $\alpha$ -linolénico a < 3%. Cuando es parcialmente hidrogenado, puede ser utilizado como un aceite semisólido fluido o como una grasa. Los fosfolípidos, restos de metales, hidrocarburos y jabones que se encuentran en el aceite crudo pueden ser eliminados para obtener un aceite refinado de alta calidad. Las "gomas" recuperadas en el proceso de desgomado son fuente de la lecitina comercial de soja. Los antioxidantes naturales que no son completamente eliminados en la refinación también contribuyen a su estabilidad. Los triglicéridos y fosfolípidos son importantes por su aporte en fósforo y en AG esenciales linoleico y  $\alpha$ -linolénico.

La soja contiene una amplia gama de minerales (Ca, Fe, Cu, P y Zn) (Pearson 1983), lo que se refleja en un alto tenor de cenizas (5%-6%); sin embargo, su biodisponibilidad es baja por la presencia de fitatos y FD, los cuales actuarían como antinutrientes. Esta desventaja se elimina en alimentos de soja fermentados o fortificados con minerales. La biodisponibilidad de Fe se puede aumentar mediante el agregado de inulina (FD soluble), un polisacárido que estimula el crecimiento de la flora bacteriana benéfica, produciendo AG que aumentan la acidez digestiva y favorecen la mayor solubilidad y absorción de hierro. La soja posee también vitaminas, fundamentalmente tiamina ( $B_1$ ), riboflavina ( $B_2$ ), piridoxina ( $B_6$ ), niacina, ácido pantoténico, biotina, ácido fólico, provitamina-A, inositol, colina y ácido ascórbico. La harina entera puede cubrir desde una tercera parte a la mitad de las vitaminas del complejo B si se ingiere una cantidad que aporte la mitad del requerimiento de proteína en la dieta, aunque una parte puede ser destruida durante el procesamiento con calor.

Las leguminosas contienen un grupo distintivo de componentes bioactivos denominados colectivamente isoflavonas, esenciales en las interacciones entre las bacterias simbióticas, como *Rhizobium spp*, y las leguminosas, funcionando como quimiotácticos y moléculas señal (Hungria y otros 1992). También son precursores de fitoalexinas, que cumplen un rol en procesos de

defensa contra patógenos bacterianos y fúngicos (Dixon y Ferreira 2002). La soja es la principal fuente dietética de isoflavonas, ya que su contenido oscila entre 100 y 400 mg/100 g de grano (Wang y Murphy 1994). Otros tipos de poroto o frijol contienen entre 3 y 4 mg/100 g (Mazur y otros 1998, Nakamura y otros 2001). Las isoflavonas predominantes en la soja son genisteína, daidzeína y gliciteína, que pueden encontrarse libres (agluconas) o conjugadas a una molécula de glucosa mediante un enlace  $\beta$  establecido con su carbono 7, denominadas  $\beta$ -glucósidos. A su vez, esta molécula de glucosa puede estar esterificada con ácido malónico o con ácido acético, formando el malonil-éster o el acetil-éster correspondiente. En el poroto de soja, en la harina o en cualquier producto derivado de ellos se encuentra una proporción determinada de aglucona,  $\beta$ -glucósido, malonato de  $\beta$ -glucósidos o acetato de  $\beta$ -glucósidos, debido a las transformaciones que sufren los malonil-glucósidos.

La variabilidad en las proporciones con que se presentan estas sustancias genera diferentes patrones de conjugación, que dependen de la variedad de la soja y de las condiciones de desarrollo, cultivo, almacenamiento y procesamiento del grano hasta el producto final (Franke y otros 1999). De este patrón depende la bioactividad del grano o producto derivado, dado que la forma que se absorbe mayoritariamente en el tracto gastrointestinal es la aglucona, que puede formarse a partir del  $\beta$ -glucósido por acción de las enzimas presentes en la luz del intestino como florizina-lactosa hidrolasa (Zafar y otros 2004). La aglucona no puede formarse a partir de los ésteres, ya que éstos no son utilizados como sustrato por las enzimas intestinales (Ismael y Haynes 2005). Kawakami y otros (2005) hallaron que el efecto de las agluconas en los niveles de colesterol y triglicéridos era mucho más importante que el de las formas conjugadas. Por otra parte, la actividad antioxidante de las isoflavonas es función del número de hidroxilos libres, por lo tanto, la conjugación reduce esta propiedad (Naim y otros 1976).

Se denomina antinutrientes a diversos componentes bioactivos presentes en poroto de soja en estado fresco, aun cuando algunos de ellos resultan ser saludables. Los termolábiles son inhibidores de proteasas, hemaglutininas o lectinas, goitrógenos y antivitaminas (Pearson 1983). Los termorresistentes son fundamentalmente saponinas, fitoestrógenos, factores de flatulencia (oligosacáridos y FD soluble), isopéptidos, alérgenos, fitatos y fibra. De todos ellos, los que representan un riesgo a la salud son los inhibidores de proteasas, conocidos también como factores antitripticos o inhibidores de tripsina, que se encuentran en la fracción 25 de extractos acuosos. Se han descrito dos tipos (Kunitz y Bowman-Kirk), y ambos pueden inactivarse por calor. La ingesta prolongada de estos factores, a través de poroto, harina o leche de soja crudos, provocan disminución de la digestión intestinal de proteínas (aumenta el N fecal por eliminación de proteínas ingeridas y de enzimas digestivas ricas en aminoácidos azufrados), inhibición del crecimiento, aumento de la secreción pancreática de enzimas por medio de un mecanismo de retroalimentación a través de la colecistoquinina, hipertrofia del páncreas, lo cual constituye una respuesta biológica reversible que no daña en forma permanente ni al órgano ni a su función y depresión del metabolismo energético. En consecuencia, todo producto de soja debe ser inactivado a través de tratamientos adecuados para ser considerado un alimento inocuo. El tratamiento térmico de la soja y sus productos aumenta el aprovechamiento de sus proteínas, proceso de desnaturalización

cuya efectividad es dependiente de la temperatura, el pH, el tiempo y el contenido de agua. El aumento de la digestibilidad de las proteínas es atribuible no solamente a la inactivación de antiproteasas y otros antinutrientes termolábiles, sino además a la desnaturalización, en que se hacen más susceptibles a la acción de proteasas digestivas.

Como se describe en diversos capítulos de este libro, en los últimos años los alimentos funcionales, que proveen beneficios fisiológicos adicionales además de los requerimientos nutricionales que satisfacen, han adquirido gran importancia en la industria de alimentos, dada su participación en la prevención de ECNT. Entre las sustancias bioactivas aportadas por la soja que pueden ser benéficas para la salud se encuentran las ya descritas isoflavonas, algunas saponinas y diversos lisofosfolípidos (Fang y otros 2004, Gibbs y otros 2004). Su consumo ha sido asociado con la prevención de dos de las patologías con mayor incidencia en la población mundial, como son distintos tipos de cáncer (Franke y otros 1999, Vis y otros 2005) y las cardiovasculares (Hasler 2002, Gardner y otros 2003), entre otros efectos como reducir la sintomatología posmenopáusica (Mazur y otros 1998, Messina 2003) y la osteoporosis (Messina 2003, Desroches y otros 2004, Vis y otros 2005, Uenishi 2005).

La Organización Mundial de la Salud (2004) cataloga a los alimentos que contienen soja como posibles factores de disminución de riesgos de patología cardiovascular. Su consumo ejercería este efecto a través de la acción de algunos componentes sobre el metabolismo de lípidos, como el colesterol y los triglicéridos. Rossel y otros (2004) encontraron que un consumo moderado de soja se asocia a una disminución del colesterol plasmático. Tachibana y otros (2005) describen un patrón diferente de expresión de genes relacionados con el metabolismo de lípidos en hígado de ratas alimentadas con proteínas de soja. El nivel de triglicéridos y colesterol en plasma disminuyó, indicando que estos genes estaban involucrados con funciones antioxidantes, energéticas y del metabolismo de lípidos.

Los componentes de la soja responsables de estos efectos no están totalmente identificados, algunos trabajos sugieren que son las proteínas las que provocan el descenso en los niveles de las LDL y triglicéridos en las poblaciones que la consumen con cierta frecuencia. Así por ejemplo, Moriyama y otros (2004) demostraron que la  $\beta$ -conglucina tendría efectos sobre la absorción y regulación del metabolismo de los triglicéridos. Lovati y otros (1992) mostraron también que la subunidad  $\alpha'$  de  $\beta$ -conglucina aumenta la actividad del receptor de LDL de hepatocitos de rata en cultivo, en tanto que Duranti y otros (2004) encontraron que esta subunidad activa al receptor de las  $\beta$ -VLDL en la misma especie animal en condiciones de dieta hipercolesterolémica. Por su parte, Fukui y otros (2002) mostraron que el consumo de proteínas de soja libres de isoflavonas disminuía el colesterol en sangre de ratas alimentadas con dietas ricas en colesterol.

Algunos investigadores han mostrado evidencias a favor de las isoflavonas como causantes de la disminución de la concentración plasmática de colesterol. Song y otros (2003), administrando por separado distintos compuestos presentes en el poroto de soja en hamsters, observaron que la daidzeína provocaba una disminución del colesterol plasmático total, fundamentalmente de la fracción LDL, aunque no lograron esclarecer el mecanismo de acción.

Gudbrandsen y otros (2005) ensayaron en ratas dietas con proteínas animales e isoflavonas y concluyeron que estas afectaban el metabolismo del colesterol, disminuyendo sus niveles, y que los mecanismos verificados eran, entre otros, el aumento de la expresión del gen del receptor hepático de LDL. Las isoflavonas tienen también actividad antioxidante, y se ha planteado que la oxidación de las LDL es uno de los prerequisites para que éstas sean reconocidas por los macrófagos de la pared arterial y desencadenar la formación de ateromas (Steinberg 1997). La administración de genisteína y daidzeína a humanos incrementó la resistencia a la oxidación *in vitro* de LDL (Tikkanen y otros 1998). La prevención de la oxidación de las lipoproteínas y otras moléculas plasmáticas llevada a cabo por estos fitoquímicos contribuiría, entre otros mecanismos, a disminuir el estrés oxidativo (Vega-López y otros 2005). También se postula que las acciones antiaterogénicas ejercidas por la soja se deben al sinergismo entre isoflavonas y proteínas. Su uso conjunto en ensayos *in vivo* producía una disminución en los niveles de LDL plasmático (Anthony y otros 1996, Kerckhoffs y otros 2002) y un efecto antioxidante (Liu y otros 2005) mayores que la administración individual de dichos compuestos. Por su parte, Lichtenstein (2000) sugiere que el efecto de las isoflavonas sobre el colesterol puede ser indirecto y estar asociado a su administración con proteínas de soja. Ello sugiere que las interacciones entre proteínas e isoflavonas de soja pueden ser determinantes de los efectos que muestren estos compuestos sobre los individuos que las consumen.

Algunos estudios relacionan la ingestión de soja con la disminución del cáncer de colon (Messina y Barnes 1991, Qianlong y otros 2002, Messina y otros 1994, 1998, Messina 1998). Kim y otros (2004) encontraron que las saponinas de soja reducen el riesgo de génesis de tumores en el colon por supresión de respuestas inflamatorias. Se han identificado algunos compuestos anticancerígenos, especialmente las isoflavonas. La genisteína, además, inhibiría el crecimiento de células cancerosas hormona-dependiente e independiente. Los estudios realizados por Kim y otros (2004), principalmente en poblaciones de origen asiático, han contribuido al análisis del efecto del consumo de soja en su potencialidad anticancerígeno. Sin embargo, hasta el momento existe información limitada que permita asegurar fehacientemente un efecto concreto de la soja como protector anticancerígeno.

## Bibliografía

- Abdi H, Sahib MK. 1976. Distribution of lysine in different legumes and some species of amaranth seeds. *J Food Sci Technol*, 13: 16-20.
- Abugoch L, Martinez NE, Añón MC. 2003. Influence of the extracting solvent upon the structural properties of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) glutelin. *J Agric Food Chem*, 51: 4060-4065.
- Acevedo E, Bressani R. 1990. Contenido de fibra dietética y digestibilidad del nitrógeno en alimentos centroamericanos: Guatemala. *Arch Latinoamer Nutr*, 40: 439-451.
- Anderson JW, Hanna TJ. 1999. Impact of nondigestible carbohydrates on serum lipoproteins and risk for cardiovascular disease. *J Nutr*, 129: S1457-S1466.

- Anderson JW, Smith B, Moore K, Hanna T. 2000. Soy foods and health promotion. En: *Vegetables, Fruits and Herbs for Health Promotion*. Watson R, editor. CRC Press, Boca Raton, FL, pag 117-134.
- Anthony MS, Clarkson TB, Hughes Jr CL, Morgan TM, Burke GL. 1996. Soybean isoflavones improve cardiovascular risk factors without affecting the reproductive system of peripubertal rhesus monkeys. *J Nutr*, 126: 43-50.
- Asp NG, Johansson CG, Hallmer H, Siljestrom M. 1983. Rapid enzymatic assay of insoluble and soluble dietary fiber. *J Agric Food Chem*, 31: 476-482.
- Asp NG, Van Amelsvoort JMM, Hautvast JGAJ. 1996. Nutritional implications of resistant starch. *Nutr Res Rev*, 9: 1-31.
- Avallone R, Plessi M, Baraldi M, Monzani A. 1997. Determination of chemical composition of carob (*Ceratonia siliqua*): protein, fat, carbohydrates, and tannins. *J Food Compos Anal*, 10: 166-172.
- Ayaz FA, Torun H, Ayaz S, Correia PJ, Alaiz M, Sanz C, Gruz J, Strand M. 2007. Determination of chemical composition of anatolian carob pod (*Ceratonia siliqua* L.): sugars, amino and organic acids, minerals and phenolic compounds. *J Food Quality*, 30: 1040-1055.
- Ballester D, Castro X, Cerda P, Garcia E, Yanez E. 1988. Bread quality and nutritional value of "Marraqueta" and "Hallulla" supplemented with full-fat sweet lupin flour (*Lupinus albus* cv. Moltolupa). *Intl J Food Sci Technol*, 23: 225-231.
- Barba de la Rosa AP, Paredes-López O, Carabez-Trejo A, Ordorica-Falomir C. 1989. Enzymatic hydrolysis of amaranth flour-differential scanning calorimetry and scanning electron microscopy studies. *Starch*, 41: 424-428.
- Barba de la Rosa AP, Gueguen J, Paredes-López O, Viroben G. 1992a. Fractionation procedures, electrophoretic characterization and aminoacid composition of Amaranth seed proteins. *J Agric Food Chem*, 40: 931-936.
- Barba de la Rosa AP, Paredes-López O, Gueguen J. 1992b. Characterization of amaranth globulins by ultracentrifugation and chromatografic techniques. *J Agric Food Chem*, 40: 937-940.
- Barba de la Rosa AP, Herrera-Estrella A, Utsumi S, Paredes-López O. 1996. Molecular characterization, cloning and structural analysis of a cDNA encoding an amaranth globulin. *J Plant Physiol*, 149: 527-532.
- Barrio DA, Añón MC. 2007. Propiedades antitumorales in vitro de aislados polipeptídicos de amaranto *Mantegazzianus*. Reunión Científica de la Sociedad Argentina de Investigación Clínica, Sociedad Argentina de Inmunología y Sociedad Argentina de Fisiología – Mar del Plata, Argentina.
- Bazúa CD, Guerra VR. 1980. Los centros de investigación y educación superior y el desarrollo de agroindustrias. Parte 11. Nuevos Productos Agrícolas Procesados. *Rev Tecnol Alimentos*, 15(6): 43-46.
- Becker R, Wheeler EL, Lorenz K, Stafford AE, Grosjean OK, Betschart AA, Saunders RM. 1981. A compositional study of amaranth grain. *J Food Sci*, 46: 1175-1180.
- Bedolla S, De Palacios MG, Rooney LW, Ciehl KC, Khan MN. 1983. Cooking characteristics of sorghum and corn for tortilla preparation by several cooking methods. *Cereal Chem*, 60: 263-268.

- Bello-Perez LA, Rendon VJR, Agama AE, Islas HJJ. 2006. In vitro starch digestibility of tortillas elaborated by different masa preparation procedures. *Cereal Chem*, 83: 188-193.
- Bengoechea C, Romero A, Villanueva A, Moreno G, Alaiz M, Millán F, Guerrero A, Puppo MC. 2008. Composition and structure of carob (*Ceratonia siliqua* L.) germ proteins. *Food Chem*, 107: 675-683.
- Berger A, Monnard I, Dionisi F, Gumy D, Hayes KC, Lambelet P. 2003. Cholesterol-lowering properties of amaranth flakes, crude and refined oils in hamsters. *Food Chem*, 81: 119-124.
- Berry EM, Eisenberg S, Friedlander Y, Harats D, Kaufmann NA, Norman Y, Stein Y. 1992. Effects of diets rich in monounsaturated fatty acids on plasma lipoprotein. The Jerusalem Nutrition Study. II. Monounsaturated fatty acids vs. carbohydrates. *Am J Clin Nutr*, 56: 394-403.
- Bertoni MH, Gómez RG, Cattaneo P, Covas G. 1984. Estudios sobre la semilla de especies americanas de *Amaranthus*. II. Harinas de extracción de *A. caudatus*, *A. cruentus* y *A. mantegazzianus*. *Anales Asociación Química Argentina*, 72: 597-605.
- Bez J, Schott M, Seger A. 2005. Application of lupin protein ingredients in muffins, biscuits and extruded snacks. Optimised processes for preparing healthy and added value food ingredients from lupin kernels, the European protein-rich grain legume. Proceedings of the Final Conference of the European Project. Milan, 9-10 nov, pag 51-66.
- Bi-Fong L, Bor-Luen C, Jin-Yuarn L. 2005. *Amaranthus spinosus* water extract directly stimulates proliferation of B lymphocytes in vitro. *Int Immunopharmacol*, 5: 711-722.
- Binder RJ, Coit JE, Williams KT, Brekke JE. 1959. Carob varieties and composition. *Food Technol*, 13: 213-215.
- Block RJ, Mitchell HH. 1946. The correlations of the amino acid composition of proteins with their nutritive value. *Nutr Res Rev*, 16: 249-278.
- Bloksma A, Bushuk W. 1988. Rheology and chemistry of dough. En: *Wheat Chemistry and Technology*. Pomeranz V, editor. American Association of Cereal Chemists, St Paul, MN, pag 131-217.
- Boyer CD, Shannon JC. 1987. Carbohydrates of the kernel. En: *Corn: Chemistry and Technology*. Watson SA, Ramstad PE, editors. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, pag 253-272.
- Boza JJ, Maire JC, Bovetto L, Balleve O. 2000. Plasma glutamine response to enteral administration of glutamine in human volunteers (free glutamine versus protein-bound glutamine). *Nutrition*, 16: 1037-1042.
- Boza JJ, Turín M, Moënnoz D, Montigon F, Vuichod J, Gueissaz N, Gremaud G, Pouteau E, Piguet-Welsch C, Finot PA, Ballèvre O. 2001. Effect of glutamine supplementation of the diet on tissue protein synthesis rate of glucocorticoid-treated rats. *Nutrition*, 17: 35-40.
- Braham JE, Bressani R. 1966. Utilization of calcium from home treated maize. *Nutr Bromatol Toxicol*, 5: 14-19.
- Braham JE, Villarreal A, Bressani R. 1962. Effect of lime treatment of corn on the availability of niacin for cats. *J Nutr*, 76: 183-186.
- Bressani R, Benavides V, Acevedo E, Ortiz MA. 1990. Changes in selected nutrient contents and in protein quality of common and quality-protein maize during tortilla preparation. *Cereal*

- Chem, 67: 515-518.
- Bressani R, Breuner M, Ortiz MA. 1989. Contenido de fibra ácido y neutrodetergente y de minerales menores en maíz y su tortilla. *Arch Latinoamer Nutr*, 39: 382-391.
- Bressani R, De Villarreal EM. 1963. Nitrogen balance of dogs fed lime-treated corn supplemented with proteins and amino acids. *J Food Sci*, 28: 611-615.
- Bressani R, García Vela LA. 1990. Protein fractions in Amaranth grain and their chemical characterization. *J Agric Food Chem*, 38: 1205-1209.
- Bressani R, Paz y Paz R, Scrimshaw NS. 1958. Chemical changes in corn during preparation of tortillas. *J Agric Food Chem*, 6: 770-774.
- Bressani R, Gómez-Brenes R, Scrimshaw NS. 1961. Effect of processing on distribution and in vitro availability of niacin of corn (*Zea mays*). *Food Technol*, 15: 450-454.
- Bressani, R. 1994. Composition and nutritional properties of amaranth. Amaranth, biology, chemistry and technology. Paredes-López O, editor. CRC Press, Boca Ratón, Florida, pag 185-206.
- Bruce B, Spiller GA, Klevay LM, Gallagher LK. 2000. A diet high in whole and unrefined foods favourably alters lipids, antioxidant defenses and colon function. *J Am Coll Nutr*, 19: 61-67.
- Calixto FS, Canellas J. 1982. Components of nutritional interest in carob pods *Ceratonia siliqua*. *J Sci Food Agric*, 33: 1319-1323.
- Campos JE, El-Dash AA. 1978. Effect of addition of full fat sweet lupine flour on rheological properties of dough and baking quality of bread. *Cereal Chem*, 55: 619-627.
- Candow DG, Chilibeck PD, Burke DG, Davison KS, Smith-Palmer T. 2001. Effect of glutamine supplementation combined with resistance training in young adults. *Europ J Appl Physiol*, 86: 142-149.
- Cassidy A, Bingham SA, Cummings JH. 1994. Starch intake and colorectal cancer risk: an international comparison. *Brit J Cancer*, 69: 937-942.
- Castell LM. 2002. Can glutamine modify the apparent immunodepression observed after prolonged, exhaustive exercise? *Nutrition*, 18: 371-375.
- Castellani OF, Martínez EN, Añón MC. 1998. Structural modifications of an Amaranth globulin induced by pH and NaCl. *J Agric Food Chem*, 46: 4846-4853.
- Castellani OF. 2000. Tesis doctoral. Caracterización estructural y fisicoquímica de la globulina-P de amaranto. Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
- Champ MMJ. 2002. Non-nutrient bioactive substances of pulses. *Brit J Nutr*, 88: S307-S319.
- Cheftel JC, Cuq, JL, Lorient, D. 1989. Proteínas alimentarias: bioquímica, propiedades funcionales, valor nutritivo, modificaciones químicas. Ed. Acribia, España.
- Chel-Guerrero L, Scilingo AA, Gallegos Tintoré S, Dávila G, Añón MC. 2007. Physicochemical and structural characterization of Lima Bean (*Phaseolus lunatus*) globulins. *LWT*, 40: 1537-1544.
- Chen S, Paredes-López O. 1997. Isolation and characterization of the 11S globulin from amaranth seeds. *J Food Biochem*, 21: 53-65.
- Cohn DF. 1995. Are other systems apart from the nervous system involved in human lathyrism? *Lathyrus sativus* and human lathyrism: Progress and Prospects. Yusuf H, Lambein F, editores.

- Dhaka, pag 101-102.
- Conejero R, Bonet A, Grau T, Esteban A, Mesero A, Montejo JC, López J, Acosta JA. 2002. Effect of a glutamine-enriched enteral diet on intestinal permeability and infectious morbidity at 28 days in critically ill patients with systemic inflammatory response syndrome: a randomized, single-blind, prospective, multicenter study. *Nutrition*, 18: 716-721.
- Cravioto RO, Anderson RK, Lockhart EE, De Miranda F de P, Harris RS. 1945. Nutritive value of the Mexican tortilla. *Science*, 102: 91-93.
- Cravioto RO, Massieu GH, Cravioto OY, Figueroa M. 1952. Effect of untreated corn and Mexican tortilla upon the growth of rats on a niacin tryptophan deficient diet. *J Nutr*, 48: 453-459.
- Curb JD, Wergowske G, Dobbs JC, Abbott RD, Huang B. 2000. Serum lipids effects of a high monounsaturated fat diet based on macadamia nuts. *Arch Internal Med*, 160: 1154-1158.
- Czerwinski J, Bartnikowska E, Leontowicz H, Lange E, Leontowicz M, Katrich E, Trakhtenberg S, Gorinstein S. 2004. Oat (*Avena sativa* L.) and amaranth (*Amaranthus hypocondriacus*) meals positively affect plasma lipid profile in rats fed cholesterol-containing diets. *J Nutr Biochem*, 15: 622-629.
- Dakia PA, Wathelet B, Paquot M. 2007. Isolation and chemical evaluation of carob (*Ceratonia siliqua* L.) seed germ. *Food Chem*, 102: 1368-1374.
- De Groot AP, Slump P. 1969. Effect of several alkali treatments of proteins on amino acid composition and nutritive value. *J Nutr*, 98: 45-46.
- Del Valle FR, Villaseñor J. 1974. Enrichment of tortillas with soy proteins by lime cooking of whole raw corn-soy bean mixtures. *J Food Sci*, 39: 244-247.
- Dervas G, Doxastakis G, Hadjisavva-Zinoviadi S, Triantafillakos N. 1999. Lupin flour addition to wheat flour doughs and effect on rheological properties. *Food Chem*, 66: 67-73.
- Desroches SJ, Mauger F, Lamarche B, Ausman LM, Lichtenstein AH. 2004. Soy protein favorably affects LDL size independently of isoflavones in hypercholesterolemic men and women. *J Nutr*, 134: 574-579.
- Dixon RA, Ferreira D. 2002. Genistein. *Phytochemistry*, 60: 205-211.
- Doxastakis G, Zafiriadis I, Irakli M, Marlani H, Tananaki C. 2002. Lupin, soya and triticale addition to wheat flour doughs and their effect on rheological properties. *Food Chem*, 77: 219-227.
- Duarte-Correa A, Jokl L, Carlsson R. 1986. Aminoacid composition of some *Amaranthus* sp. grain proteins and its fractions. *Arch Latinoamer Nutr*, 26: 466-476.
- Duranti M, Dani V, Barbiroli A, Scarafoni A, Lovati MR, Castiglioni S, Ponzzone C, Morazzoni P. 2004. The  $\alpha'$  subunit from soybean 7S globulin lowers plasma lipids and upregulates liver  $\alpha\beta$ -VLDL receptors in rats fed a hypercholesterolemic diet. *J Nutr*, 134: 1334-1339.
- Estévez AM, Escobar B, Chiffelle I. 2003. Uso de harina de piñón (*Araucaria araucana* (Mol.) K.Koch) en la elaboración de galletas. Proyecto FIA-PI-C2003-I-F-92. Bases técnicas para el mercado del piñón: características de producción, técnicas de post-cosecha y desarrollo de productos.
- European Association for Grain Legume Research. 2007. [www.grainlegumes.com](http://www.grainlegumes.com). Consultado 1/04/2008.

- Fang N, Yu S, Badger TM. 2004. Comprehensive phytochemical profile of soy protein isolate. *J Agric Food Chem*, 52: 4012-4020.
- FAO 1993. El maíz en la nutrición humana. Colección FAO: Alimentación y Nutrición N° 25. Roma, Italia. <http://www.fao.org/docrep/T03955/T0395500.htm#Contents>. Consultado 12/02/2007.
- Feillet P, Roulland TM. 1998. Caroubin: a gluten-like protein isolate from carob bean germ. *Cereal Chem*, 75: 488-492.
- Fernández MJL, Rodríguez ME, Pless RC, Martínez FHE, Leal M, Martínez JL, Baños L. 2002. Changes in nixtamalized corn flour dependent on post cooking steeping time. *Cereal Chem*, 79: 162-166.
- Fernandez ML, Berry JW. 1989. Rheological properties of flour and sensory characteristics of bread made from germinated chickpea. *Intl J Food Sci Technol*, 24: 103-110.
- Fernández-Muñoz JL, Rojas-Molina I, González-Dávalos ML, Leal M, Valtierra ME, San Martín-Martínez E, Rodríguez ME. 2004. Study of calcium diffusion in components of maize kernels during traditional nixtamalization process. *Cereal Chem*, 81: 65-69.
- Ferrer E, Alegría A, Farré R, Abellán P, Romero F. 1999. Review: Indicators of damage of protein quality and nutritional value of milk. *Food Sci Technol Internat*, 5: 447-461.
- Figueroa CJD, Acero GMG, Vasco MNL, Lozano GA, Flores ALM. 2003. Nutritional quality of nixtamal tortillas fortified with vitamins and soy proteins. *Intl J Food Sci Nutr*, 54: 189-200.
- Finney PL, Morad MM, Hubbard JD. 1980. Germinated and ungerminated faba bean (*Vicia faba*) in sugar and sugar-free conventional U.S. and Egyptian balady bread. *Cereal Chem*, 57: 267-270.
- Flynn NE, Meininger CJ, Haynes TE, Wu G. 2002. The metabolic basis of arginine nutrition and pharmacotherapy. *Biomed Pharmacother*, 56: 427-438.
- Forstermann U, Munzel T. 2006. Endothelial nitric oxide synthase in vascular disease. From marvel to menace. *Circulation*, 113: 1708-1714.
- Franke AA, Hankin JH, Maskarinec G, Custer LJ, Yu MC, Low SH. 1999. Isoflavone levels in soy foods consumed by multiethnic populations in Singapore and Hawaii. *J Agric Food Chem*, 47: 977-986.
- Franze K. 1975. Tortillas fortified with whole soybeans prepared by different methods. *J Food Sci*, 40: 1275-1277.
- Fraser GE. 1999. Nut consumption, lipids and risk of a coronary event. *Clin Cardiology*, 22 (Suppl II): 11-15.
- Fukui K, Tachibana N, Wanezaki S, Tsuzaki S, Takamatsu K, Yamamoto T, Hashimoto Y, Shimoda T. 2002. Isoflavone-free soy protein prepared by column chromatography reduces plasma cholesterol in rats. *J Agric Food Chem*, 50: 5717-5721.
- Gardner C, Messina M, Lawson LD, Farquhar JW. 2003. Soy, garlic, and ginkgo biloba: Their potential role in cardiovascular disease prevention and treatment. *Curr Atheroscler Rep*, 5: 468-475.
- Geervani P, Theophilus F. 1981. Studies on digestibility of selected legume carbohydrates and its impact on the pH of the gastrointestinal tract in rats. *J Sci Food Agric*, 32: 71-78.

- Geil PB, Anderson JW. 1994. Nutrition and health implications of dry beans: a review. *J Am Coll Nutr*, 13: 549-558.
- Gibbs BF, Masse R, Zougman A, Mulligan C. 2004. Production and characterization of bioactive peptides from soy hydrolysate and soy-fermented food. *Food Res Intl*, 37: 123-131.
- Gibson GR, Roberfroid MB. 1995. Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *J Nutrition*, 125: 1401-1412.
- Gleeson M, Bishop NC. 2000. Elite Athlete Immunology: Importance of Nutrition. *Intl J Sports Med*, Supplement 1: S44-S50.
- Gómez M, Oliete B, Caballero PA, Ronda F, Blanco CA. 2006 a. Estudio de las características reológicas de las masas enriquecidas con harina de castaña. Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, 272. Córdoba, Argentina, 15-17 nov.
- Gómez M, Oliete B, Caballero PA, Ronda F, Blanco CA. 2006 b. Efecto de la cantidad y del tipo de procesado de la almendra sobre las características reológicas de las masas enriquecidas. Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, 262. Córdoba, Argentina, 15-17 nov.
- Gómez M, Oliete B, Caballero PA, Ronda F, Blanco CA. 2007 a. Effect of nut paste enrichment on wheat dough rheology and bread volume. *Food Sci Technol Internat*, 14: 57-65.
- Gómez M, Oliete B, Ronayne P. 2007 b. Frutos Secos. En: De tales harinas, tales panes. León AE, Rosell CM, editores. Báez Editor, Córdoba, Argentina, pag 439-473.
- González-Salvador A, Gómez-Pallarés M, Caballero-Calvo PA. 2006. Influencia de la harina de garbanzo en la elaboración de bizcochos. Trabajo Fin de Carrera de la Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias de Palencia. Universidad de Valladolid.
- Gorinstein S, Arnao de Nue I, Arruda P. 1991. Alcohol-soluble and total proteins from amaranth seeds and their comparison with other cereals. *J Agric Food Chem*, 39: 848-850.
- Grados N, Bravo L, Saura F. 1994. Composition and potential uses of Mesquite pods (*Prosopis palida* L.). Comparison with carob pods (*Ceratonia siliqua* L.). *J Sci Food Agric*, 65: 303-306.
- Grajeta H. 1997. Effects of amaranth (*Amaranthus cruentus*) seeds on lipid metabolism in rats. *Bromatologia i Chemia Toksykologizna*, 30: 25-30.
- Granfeldt Y, Liljeberg H, Drews A, Nweman R, Bjorck IM. 1994. Glucose and insulin responses to barley products. Influence of food structure and amylose-amylopectin ratio. *Am J Clin Nutr*, 59: 1075-1082.
- Green JR, Lawhon JT, Cater CM, Mattil KF. 1976. Protein fortification of corn tortillas with oilseed flour. *J Food Sci*, 41: 656-660.
- Griffiths RD, Allen KD, Andrews FJ, Jones C. 2002. Infection, multiple organ failure, and survival in the intensive care unit: influence of glutamine-supplemented parenteral nutrition on acquired infection. *Nutrition*, 18: 546-552.
- Grundy J, Matthews S, Bateman B, Dean T, Arshad SH. 2002. Rising prevalence of allergy to peanut in children: Data from two sequential cohorts. *J Allergy Clin Immunol*, 110: 784-789.
- Gudbrandsen OA, Wergedahl H, Berge RK, Liaset B, Espe M. 2005. Dietary proteins with high isoflavone content or low methionine-glycine and lysine-arginine ratios are hypocholes-

- terolaemic and lower the plasma homocysteine level in male Zucker fa/fa rats. *Brit J Nutr*, 94: 321-330.
- Gutiérrez E, Rojas-Molina I, Pons-Hernández JL, Guzmán H, Aguas-Angel B, Arenas J, Fernández P, Palacios-Fonseca A, Herrera G, Rodríguez ME. 2007. Study of calcium ion diffusion in nixtamalized quality protein maize as a function of cooking temperature. *Cereal Chem*, 84: 186-194.
- Guzmán-Maldonado S, Paredes López O. 1998. Functional products of plants indigenous to Latin American: Amaranth, quinoa, common beans and botanicals. En: *Functional foods. Biochemical and processing aspects*. Mazza G, editor. Technomic Publishing Co. Inc, Lancaster, pag 293-327.
- Hambidge MK, Krebs NF, Wescott JL, Sian L, Miller LV, Peterson KL, Raboy V. 2005. Absorption of calcium from tortilla meals prepared from low-phytate maize. *Am J Clin Nutr*, 82: 84-87.
- Harwalkar VR, Ma C. 1987. Study of thermal properties of oat globulin by differential scanning calorimetry. *J Food Sci*, 52: 394-398.
- Hasler CM. 2002. The cardiovascular effects of soy products. *J Cardiovasc Nursing*, 16: 50-63.
- Hasler CM. 2002. Functional foods benefits, concerns and challenges: a position paper from the American Council of Science and Health. *J Nutr*, 132: 3772-3778.
- Hazell T, Johnson IT. 1989. Influence of food processing on iron availability in vitro from extruded maize-based snack foods. *J Sci Food Agric*, 46: 365-374.
- Hibi M, Hachimura S, Hashizume S, Obata I T, Kaminogawa S. 2003. Amaranth grain inhibits antigen-specific IgE production through augmentation of the IFN- $\gamma$  response in vivo and in vitro. *Cytotechnology*, 43: 33-40.
- Hotz C, DeHaene J, Woodhouse LR, Villalpando S, Rivera JA, King JC. 2005. Zinc absorption from zinc oxide, zinc sulphate, zinc oxide+EDTA, or sodium-zinc EDTA does not differ when added as fortificants to maize tortillas. *J Nutr*, 135: 1102-1105.
- Hughes JS. 1991. Potential contribution of dry bean dietary fiber to health. *Food Technol*, 45: 122-126.
- Hungria M, Johnston AW, Phillips DA. 1992. Effects of flavonoids released naturally from bean (*Phaseolus vulgaris*) on nod D-regulated gene transcription in *Rhizobium leguminosarum* bv phaseoli. *Mol Plant-Microbe Interact*, 5: 199-203.
- Ibáñez MC, Ferrero C. 2003. Extraction and characterization of the hydrocolloid from *Prosopis flexuosa* DC seeds. *Food Res Int*, 36: 455-460.
- Ismael B, Hayes K. 2005.  $\beta$ -Glycosidase activity toward different glycosidic forms of isoflavones. *J Agric Food Chem*, 53: 4918-4924.
- Iwamoto M, Satom M, Kono M, Hirooka Y, Sakai K, Takeshita A, Imaizumi K. 2000. Walnuts lowers serum cholesterol in Japanese men and women. *J Nutr*, 130: 171-176.
- Jenkins DJA, Popovich DG, Kindall CWC, Vidgen E, Tariq N, Ransom TPP, Wolever TMS, Vuksan V, Mehling CC, Doctor KL, Bolognesi C, Huang J, Patten R. 1997. Effect of diet high in vegetables, fruit and nuts on serum lipids. *Metabolism*, 46: 530-537.
- Jiang R, Manson JE, Stampfer MJ, Liu S, Willet WC, Hu FB. 2002. Nut and peanut butter consumption and risk of type 2 diabetes in women. *JAMA*, 288: 2554-2560.

- Jones JM. 2008. Fiber, whole grains, and disease prevention. En: *Technology of Functional Cereal Products*. Hamaker BR, editor. Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England, pag 46-63.
- Kerckhoffs DAJM., Brouns F, Hornstra G, Mensink RP. 2002. Effects on the human serum lipoprotein profile of  $\beta$ -glucan, soy protein and isoflavones, plant sterols and stanols, garlic and tocotrienols. *J Nutr*, 132: 2494-2505.
- Kigel J. 1994. Development and ecophysiology of Amaranths. En *Amaranth: Biology, Chemistry & Technology*. Paredes-López, editor. CRC Press, Boca Raton, FL, pag 39-73.
- Kim R, Yu J, Kim Y, Sung M. 2004. Antiproliferative crude soy saponin extract modulates the expression of Ikk  $\beta$ ; protein kinase C, and cyclooxygenase-2 in human colon cancer cells. *Cancer Lett*, 210: 1-6.
- Kim HK, Kim MJ, Shin DH. 2006 a. Improvement of lipid profile by amaranth (*Amaranthus esculantus*) supplementation in streptozotocin-induced diabetic rats. *Ann Nut Metab*, 50: 277-281.
- Kim, HK, Kim, OMJ, Cho HY, Kim, EK, Shin, DH. 2006 b. Antioxidative and anti-diabetic effects of amaranth (*Amaranthus esculantus*) in streptozotocin-induced diabetic rats. *Cell Biochem Function*, 24: 195-199.
- Koetz R, Neukom H. 1977. Nature of bound nicotinic acid and its release by thermal and chemical treatment. En: *Physical, chemical and biological changes in food caused by thermal processing*. Hoyden Y, Kvale O, editores. Applied Sci Publishers, Londres, pag 305.
- Konishi Y, Nojima H, Okuno K, Asaoka M, Fuwa H. 1985. Characterization of starch granules from waxy, non-waxy and hybrid seed of *Amaranthus hypochondriacus* L. *Agric Biol Chem*, 49: 1965-1971.
- Konishi Y, Fumita Y, Ikeda K, Okuno K, Fuwa H. 1985. Isolation and characterization of globulin from seeds of *Amaranthus hypochondriacus* L. *Agric Biol Chem*, 49: 1453-1459.
- Konishi Y, Horikawa K, Oku Y, Azumaya J, Nakatani N. 1991. Extraction of two albumin fractions from amaranth grains: comparison of some physicochemical properties and the putative localization in the grains. *Agric Biol Chem*, 55: 2745-2750.
- Leslie CA, McGranahan GH. 1998. The origin of the walnut. En: *Walnut Production Manual*. Ramos DE, editor. Division of Agriculture and Natural Resources, University of California, Oakland, CA, pag 3-7.
- Lichtenstein AH. 2000. Soy protein, isoflavones and cardiovascular disease risk. *J Nutrition*, 130: 1589-1592.
- Lineback DR, Rasper VF. 1988. Wheat carbohydrates, En: *Wheat: Chemistry and Technology*, Pomeranz Y, editor. AACC, St. Paul, MN, pag 277-372.
- Liu H, Li K, Sperelakis N. 1997. Tyrosine kinase inhibitor, genistein, inhibits macroscopic L-type calcium current in rat portal vein smooth muscle cells. *Can J Physiol Pharmacol*, 75: 1058-1062.
- López LB, Suárez MM. 2003. Proteínas: En *Fundamentos de nutrición normal*. El Ateneo, Argentina, pag 95-123.
- Lorenz K, Gross M. 1984. Saccharides of amaranth. *Nutr Rep Internat*, 29: 721-726.

- Lorimer NL, Zabik ME, Harte JB, Stachiw NC, Uebersax MA. 1991 a. Effect of navy bean protein flour and navy bean globulin(s) on composite flour rheology, chemical bonding, and microstructure. *Cereal Chem*, 68: 213-220.
- Lorimer NL, Zabik ME, Harte JB, Stachiw NC, Uebersax MA. 1991 b. Navy bean fractions in composite doughs: Effect of bean grade on rheology parameters and microstructure of wheat dough. *Cereal Chem*, 68: 636-641.
- Lovati MRM, Corsini C, Granata A, Frattini A, Fumagalli RSR. 1992. Low density lipoprotein receptor activity is modulated by soybean globulins in cell culture. *J Nutr*, 122: 1971-1978.
- Lucisano M, Pompei C. 1981. Baking properties of lupin flour. *LWT*, 14: 323-330.
- Ludolf AC, Hugon J, Dwibech MP. 1987. Studies on the etiology and pathogenesis of motor neuron disease. *Brain*, 110: 149-165.
- Lunven P. 1968. Le tryptophane dans l'alimentation intertropicale. Tesis doctoral. Universidad de Paris.
- Ma Q, Williamson KE, O'Rourke D, Rowlands BJ. 1999. The effects of L-arginine on crypt cell hyperproliferation in colorectal cancer. *J Surgical Res*, 81: 181-188.
- Marcone MF. 1999. Biochemical and biophysical properties of plant storage proteins: a current understanding with emphasis on 11S globulins. *Food Res Internat*, 32: 79-92.
- Marcone MF, Yada RY. 1998. Structural analysis of globulins isolated from genetically different *Amaranthus* hybrid lines. *Food Chem*, 61: 319-326.
- Marcone MF. 2000. First report of the characterization of the threatened plant species *Amaranthus pumilus* (Seabeach amaranth). *J Agric Food Chem*, 48: 378-382.
- Marcone MF, Niekamp FK, Le Maguer M, Yada RY. 1994 a. Purification and characterization of the physicochemical properties of the albumin fraction from the seeds of *Amaranthus hypochondriacus*. *Food Chem*, 51: 287-294.
- Marcone MF, Beniac DR, Harauz G, Yada RY. 1994 b. Quaternary structure and model for the oligomeric seed globulin from *Amaranthus hypochondriacus* K 343. *J Agric Food Chem*, 42: 2675-2678.
- Marshall RW, Cochran M, Hodgkinon A. 1972. Relationships between calcium and oxalic acid intake in the diet and their excretion in the urine of normal and renal-stone-forming subjects. *Clin Sci*, 43: 91-99.
- Martínez EN, Castellani OF, Añón MC. 1997. Common molecular features among Amaranth storage proteins. *J Agric Food Chem*, 45: 3832-3839.
- Martínez EN, Añón MC. 1996. Composition and structural characterization of amaranth protein isolates. An electrophoretic and calorimetric study. *J Agric Food Chem*, 44: 2523-2530.
- Martínez FE. 1997. Estudios bioquímicos y nutricionales en tortilla de maíz elaboradas por un proceso de extrusión. Tesis Doctorado. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. México.
- Martínez-Flores HE, Martínez-Bustos F, Figueroa CJD, González-Hernández J. 2002 a. Studies and biological assays in corn tortillas made from fresh masa prepared by extrusion and nixtamalization processes. *J Food Sci*, 67: 1196-1199.

- Martínez-Flores HE, Figueroa CJD, Martínez-Bustos F, González-Hernández J, Rodríguez-García ME, Baños-López AML, Garnica-Romo MG. 2002 b. Physical properties and composition of femurs of rat fed with diets based on corn tortillas made from different processes. *Int J Food Sci Nutr*, 53: 155-162.
- Martínez-Flores HE, Garnica-Romo MG, Romero VJU, Yahuaca JB. 2006. Evaluating the quality of lipids during alkaline cooking of corn. *J Food Lipids*, 13: 177-185.
- Masana L, Cabré P, Solà R. 2000. Importancia de los frutos secos. Revisión y aportaciones españolas a su estudio. *Clin Invest Arterioscler*, 12: 27-30.
- Mathers MC. 2002. Pulses and carcinogenesis: potential for the prevention of colon, breast and other cancers. *Brit J Nutr*, 88: S273-S279.
- May P, Barber AD, Olimpio JT, Hourihane A, Abumrad N. 2002. Reversal of cancer-related wasting using oral supplementation with a combination of  $\beta$ -hydroxy- $\beta$ -methylbutyrate, arginine, and glutamine. *Am J Surgery*, 183: 471-479.
- Maza MP, Zamora R, Alaiz M, Hidalgo FJ, Millán F, Vioque E. 1989. Carob bean germ seed (*Ceratonia siliqua*): Study of the oil and proteins. *J Sci Food Agric*, 46: 495-502.
- Mazur WM, Adlercreutz H, Duke JA, Wähala K, Rasku S. 1998. Isoflavonoids and lignans in legumes: Nutritional and health aspects in humans. *J Nutr Biochem*, 9: 193-200.
- Mendez-Montalvo G, Sánchez-Rivera MM, Paredes-López O, Bello-Pérez LA. 2006. Thermal and rheological properties of nixtamalized maize starch. *Internat J Biol Macromolec*, 40: 59-63.
- Messina M, Barnes S. 1991. The role of soy products in reducing risk of cancer. *J Nat Cancer Inst*, 83: 541-546.
- Messina M, Bennink M. 1998. 10 Soyfoods, isoflavones and risk of colonic cancer: a review of the in vitro and in vivo data. *Bailliere's Clin Endocrinol Metab*, 12: 707-728.
- Messina M. 2003. Soyfoods and disease prevention: Part II Osteoporosis, breast cancer, and hot flushes. *Agro Food Ind Hi-Tech*, 14(6): 11-13.
- Messina MJ, Persky V, Setchell KDR, Barnes S. 1994. Soy intake and cancer risk: a review of the in vitro and in vivo data. *Nutr Cancer*, 21: 113-131.
- Milan-Carrillo J, Gutiérrez-Dorado R, Cuevas-Rodríguez EO, Garzón-Tiznado JA, Reyes-Moreno C. 2004. Nixtamalized flour quality protein maize (*Zea mays* L). Optimization of alkaline processing. *Plant Foods Hum Nutr*, 59: 35-44.
- Mizrahi S, Zimmerman G, Berk Z, Cogan U. 1967. The use of isolated proteins in bread. *Cereal Chem*, 44: 193-203.
- Moita BC, Haros M, Joao TM, Pedroza IR. 2007. Maíz. En: De tales harinas, tales panes. León AE, Rosell CM, editores. Báez Editor, Córdoba, Argentina, pag 73-122.
- Morad MM, Leung HK, Hsu LD, Finney PL. 1980. Effect of germination on physicochemical and bread-baking properties of yellow pea, lentil and faba bean flours and starches. *Cereal Chem*, 57: 390-396.
- Mora-Escobedo R, Paredes-López O, Odorica-Falomir C. 1990. Characterization of albumins and globulins from Amaranth. *LWT*, 23: 484-487.

- Moriyama T, Kishimoto K, Nagai K, Urade R, Ogawa T, Utsumi S, Maruyama N, Maebuchi M. 2004. Soybean  $\beta$ -conglycinin diet suppresses serum triglyceride levels in normal and genetically obese mice by induction of  $\beta$ -oxidation, downregulation of fatty acid synthase, and inhibition of triglyceride absorption. *Biosci Biotechnol Biochem*, 68: 352-359.
- Muncharaz M. 2002. Frutos secos y micotoxinas. *Fruticultura Profesional*, 126: 27-32.
- Naim M, Gestetner B, Bondi A, Birk Y. 1976. Antioxidative and antihemolytic activities of soybean isoflavones. *J Agric Food Chem*, 24: 1174-1177.
- Nakamura Y, Kaihara A, Yoshii K, Tsumura Y, Ishimitsu S, Tonogai Y. 2001. Content and composition of isoflavonoids in mature or immature beans and bean sprouts consumed in Japan. *J Health Sci*, 47: 394-406.
- National Academy of Sciences. 1975. *Amaranth: Modern prospects for an ancient crop*. National Academic Press, Washington DC.
- Nmorka GO, Okezie BO. 1983. Nutritional quality of winged bean composite breads. *Cereal Chem*, 60: 198-202.
- Oliete B, Gómez M, Pando V, Fernández-Fernández E, Caballero PA, Ronda F. 2008. Effect of nut paste enrichment on physical characteristics and consumer acceptability of bread. *Food Sci Technol Internat*, 14: 259-269.
- Oliete B, Gómez M. 2007. Legumbres. En: *De tales harinas, tales panes*. León AE, Rosell CM, editores. Báez Editor, Córdoba, Argentina, pag 403-438
- Ortega FI, Villegas E, Vasal SK. 1986. A comparative study of protein changes in normal and quality protein maize during tortilla making. *Cereal Chem*, 63: 446-451.
- Papoti V, Makri E, Papalamprou E, Drakos A, Mandalou D, Doxastakis G, Kiosseoglou V. 2005. Utilization of lupin seed protein isolates for the production of lupin biscuits and lupin pasta. Optimised processes for preparing healthy and added value food ingredients from lupin kernels, the European protein-rich grain legume. *Proceedings of the Final Conference of the European Project*. Milan, 9-10 nov, pag 77-88.
- Paredes-López O, Saharopulos-Paredes ME. 1983. A review of tortilla production technology. *Baker's Digest*, 57: 16-25.
- Pearson AM. 1983. Soy proteins. En: *Developments in Food Proteins-2*. Hudson BJB, editor. Applied Science Publishers LTD, Essex, England, pag 67-108.
- Pearson WN, Stempfel SJ, Valenzuela TS, Utlely MH, Darby WJ. 1957. The influence of cooked vs. raw maize on the growth of rats receiving a 9% casein ration. *J Nutr*, 62: 445-463.
- Pérez-Olleros L, García-Cuevas M, Ruiz-Roso B. 1999 a. Influence of pulp and natural carob fiber on some aspects of nutritional utilization and cholesterolemia in rats. *Food Sci Technol Int*, 5: 425-430.
- Pérez-Olleros L, García-Cuevas M, Ruiz-Roso B, Requejo A. 1999 b. Comparative study of natural carob fiber and psyllium husk in rats. Influence on some aspects of nutritional utilisation and lipidaemia. *J Sci Food Agric*, 79: 173-178.
- Perkins EG. 1995. Composition of soybeans and soybean products. En: *Practical Handbook of Soybean Processing and Utilization*. DR Erickson, editor. AOCS Press, Champaign, USA, pag 9-28.

- Pflugfelder RL, Rooney LW, Waniska RD. 1988. Fractionation and composition of commercial corn masa. *Cereal Chem*, 65: 262-266.
- Plate AYA, Areas JAG. 2002. Cholesterol lowering effect of extruded amaranth (*A. caudatus* L.) in hypercholesterolemic rabbits. *Food Chem*, 76: 1-6.
- Platt R. 2000. Current concepts in optimum nutrition for cardiovascular disease. *Prevent Cardiol*, 3: 83-87.
- Pollard NJ, Stoddard FL, Popineau Y, Wrigley CW, MacRitchie F. 2002. Lupin flours as additives: dough mixing, breadmaking, emulsifying, and foaming. *Cereal Chem*, 79: 662-669.
- Poneros AG, Erdman JW. 1988. Bioavailability of calcium from tofu, tortillas, nonfat milk and mozzarella cheese in rats: effect of supplemental ascorbic acid. *J Food Sci*, 53: 208-210.
- Prakash D, Joshi BD, Pal M. 1995. Vitamin C in leaves and seeds oil composition of the *Amaranthus* species. *Intl J Food Sci Nutr*, 46: 47-51.
- Prakash D, Pal M. 1991. Nutritional and antinutritional composition of vegetable and grain amaranth leaves. *J Sci Food Agric*, 57: 573-585.
- Pujol M. 1998. *Cultius herbacis per a Indústries Agroalimentaries*. Romanyà Valls, SA, Barcelona, pag 253.
- Puls W, Keup U. 1973. Influence on an alpha-amylase inhibitor (Bay-d7791) on blood glucose, serum insulin and NEFA in starch loading tests in rats, dogs and man. *Diabetologia*, 9: 97-101.
- Puppo MC, Gularte MA, Pérez G, Ribotta P, Añón MC. 2007. Soja. En: *De tales harinas, tales panes*. León AE, Rosell CM, editores. Báez Editor, Córdoba, Argentina, pag. 321-361.
- Qianlong Z, Meisinger J, Van Thiel DH, Yang Z, Mobarhan S. 2002. Effects of soybean extract on morphology and survival of Caco-2, SW620, and HT-29 cells. *Nutr Cancer*, 42: 131-140.
- Quiroga, A. 2008. *Globulina-P de amaranto. Análisis de estructura y homología con otras proteínas de reserva*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata.
- Rababah TM, Al-Mahasneh MA, Ereifej KI. 2006. Effect of chickpea, broad bean, or isolated soy protein additions on the physicochemical and sensory properties of biscuits. *J Food Sci*, 71: 438-442.
- Rackis JJ. 1975. Oligosaccharides of food legumes. Alpha galactosidase activity and the flatulence problem. En: *Physiologic effects of food carbohydrates*. Jeanes A, Hodges J, editores ACS Symp Serie 15, American Chemical Society, Washington DC.
- Rajaram S, Burke K, Connell B, Myint T, Sabaté J. 2001. A monounsaturated fatty acid-rich pecan-enriched diet favourably alters the serum lipid profile of healthy men and women. *J Nutr*, 131: 2275-2279.
- Ranhotra G, Gelroth J. 1988. Soluble and total dietary fiber in white bread. *Cereal Chem*, 65: 155-156.
- Rascón-Cruz Q, Sinagawa-García S, Osuna-Castro JA, Bohorova N, Paredes-López O. 2004. Accumulation, assembly and digestibility of amarantin expressed in transgenic tropical maize. *Theoret Appl Genetics*, 108: 335-342.
- Rehman S, Paterson A, Hussain S, Murtaza MA, Mehmood S. 2007. Influence of partial substitution of wheat flour with wetch (*Lathyrus sativus* L) flour on quality characteristics of doughnuts. *LWT*, 40: 73-82.

- Reinhold JG, García JS. 1979. Fiber of the maize tortilla. *Am J Clin Nutr*, 32: 1326-1329.
- Roisinblit DA. 2003. Consideraciones sobre la soja en la alimentación. Consejo Nacional de Coordinación de Políticas Sociales. Presidencia de la Nación. Argentina, pag 1-17.
- Rojas-Molina I, Gutiérrez E, Cortes-Acevedo ME, Falcon A, Bressani R, Rojas A, Ibarra C, Pons-Hernández JL, Guzmán-Maldonado SH, Cornejo-Villegas A, Rodríguez ME. 2008. Analysis of quality protein changes in nixtamalized QPM flours as a function of the steeping time. *Cereal Chem*, 85: 409-416.
- Rosado JL, Camacho-Solís R, Bourges H. 1999. Adición de vitaminas y minerales a harinas de maíz y trigo en México. *Salud Pública de México*, 41:130-137.
- Rosado JL, Díaz M, Rosas A, Griffit I, García OP. 2005 a. Calcium absorption from tortilla is relatively high and is dependent upon calcium content and liming in Mexican women. *J Nutr*, 135: 2578-2581.
- Rosado JL, Cassís L, Solano L, Duarte-Vázquez MA. 2005 b. Nutrient addition to corn masa flour: Effect on corn flour stability, nutrient loss, and acceptability of fortified corn tortillas. *Food Nutr Bull*, 26: 266-272.
- Rosell MS, Appleby PN, Spencer EA, Key TJ. 2004. Soy intake and blood cholesterol concentrations: a cross-sectional study of 1033 pre and postmenopausal women in the Oxford arm of the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition. *Am J Clin Nutr*, 80: 1391-1396.
- Sadowska J, Blaszczyk W, Fornal J, Vidal-Valverde C, Frias J. 2003. Changes of wheat dough and bread quality and structure as a result of germinated pea flour addition. *Europ Food Res Technol*, 216: 46-50.
- Saldana G, Brown HE. 1984. Nutritional composition of corn and flour tortillas. *J Food Sci*, 49: 1202-1203.
- Salinas MY, Herrera CJA, Castillo MJ, Pérez HP. 2003. Cambios físico-químicos del almidón durante la nixtamalización del maíz en variedades con diferente dureza de grano. *Arch Latinoamer Nutr*, 53: 188-193.
- Sánchez PMA, Varela GNS, Torres SMR, Valdéz LR, Zacarías VPJ, Martínez VLE. 2005. Consumo de una harina de maíz fortificada y su impacto en el estado nutricional de una población infantil. *Medicina Universitaria*, 7: 209-214.
- Sandberg AS. 2002. Bioavailability of minerals in legumes. *Brit J Nutr*, 88: S281-S285.
- Sanderson J, Wall JS, Donaldson GL, Cavins JF. 1978. Effect of alkaline processing of corn on its amino acids. *Cereal Chem*, 55: 204-213.
- Sathe SK, Deshpande SS, Salunkhe DK. 1984. Dry beans of Phaseolus. A review. Part 2. Chemical composition: carbohydrates, fiber, minerals, vitamins and lipids. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 21: 41-93.
- Saunders R, Becker R. 1984. Amaranthus: a potential food and feed resource. En: *Advances in Cereal Science and Technology*. Pomeranz Y, editor. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, pag 357-397.
- Schneider AVC. 2002. Overview of the market and consumption of pulses in Europe. *Brit J Nutr*, 88: S243-S250.

- Scilingo AA, Añón MC. 1995. Calorimetric study of soybean protein isolates: effect of calcium and thermal treatments. *J Agric Food Chem*, 39: 193-202.
- Serna-Saldívar SO, Canett R, Vargas J, González M, Bedolla S, Medina C. 1988. Effect of soybean and sesame addition on the nutritional value of maize and decorticated sorghum tortillas produced by extrusion cooking. *Cereal Chem*, 65: 44-48.
- Serna-Saldívar SO, Gómez MH, Rooney LW. 1990. Technology, chemistry and nutritional value of alkaline-cooked corn products. En: *Advances in Cereal Science and Technology*, Vol X. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, pag 243-307.
- Serna-Saldívar SO, Knabe DA, Rooney LW, Tanksley TD. 1987. Effect of lime cooking on energy and protein digestibility of maize and sorghum. *Cereal Chem*, 64: 247-252.
- Shukla S, Bhargava A, Chatterjee A, Srivastava A, Singh SP. 2006. Genotypic variability in vegetable amaranth (*Amaranthus tricolor* L.) for foliage yield and its contributing traits over successive cuttings and years. *Euphytica*, 151: 103-110.
- Shukla S, Pandey V, Pachauri G, Dixit B.S, Banerji R, Singh SP. 2003. Nutritional contents of different foliage cuttings of vegetable amaranth. *Plant Foods for Human Nutrition*, 58: 1-8.
- Sinagawa-García SR, Rascón-Cruz Q, ValdezOrtiz A, Medina-Godoy S, Escobar-Gutiérrez A, Paredes-Lopez O. 2004. Safety assessment by in vitro digestibility and allergenicity of genetically modified maize with an amaranth 11S globulin. *J Agric Food Chem*, 52: 2709-2714.
- Singh N, Harinder K, Sekhon KS, Kaur B. 1991. Studies on the improvement of functional and baking properties of wheat-chickpea flour blends. *J Food Proc Preserv*, 15: 391-402.
- Singh RB, Rastogi SS, Verma R, Bolaki L, Singh R. 1992. An Indian experiment with nutritional modulation in acute myocardial infarction. *Am J Cardiol*, 69: 879-885.
- Singhal RS, Kulkarni PR. 1988. Composition of the seeds of some *Amaranthus* species. *J Sci Food Agric*, 42: 325-331.
- Song T, Lee SO, Murphy PA, Hendrich S. 2003. Soy protein with or without isoflavones, soy germ and soy germ extract, and daidzein lessen plasma cholesterol levels in golden Syrian hamsters. *Exp Biol Med*, 228: 1063-1068.
- Sorgentini D, Wagner JR. 1999. Comparative study of structural characteristics and thermal behavior of whey and isolate soybean proteins. *J Food Biochem*, 23: 489-507.
- Speroni Aguirre F. 2005. Componentes bioactivos de soja. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de La Plata, Argentina.
- Spiller GA, Jenkins DJA, Cragen LN, Gates JE, Bosello O, Berra K, Rudd C, Stevenson M, Superko R. 1992. Effects of diet high in monounsaturated fat from almonds on plasma cholesterol and lipoproteins. *J Amer Coll Nutr*, 11: 126-130.
- Sproule AM, Serna-Saldívar SO, Buckholt AJ, Rooney LW, Knabe DA. 1988. Nutritional evaluation of tortillas and tortilla chips from quality protein maize. *Cereal Foods World*, 33: 233-236.
- Steinberg D. 1997. Low density lipoprotein oxidation and its pathobiological significance. *J Biol Chem*, 272: 20963-20966.
- Sternberg M, Kim CY, Schwende FJ. 1975. Lysino-alanine: presence in foods and food ingredients. *Science*, 190: 992-994.

- Stief TW, Weippert M, Kretschmer V, Renz H. 2001. Arginine inhibits hemostasis activation. *Thromb Res*, 104: 265-274.
- Suter PM. 1999. The effects of potassium, magnesium, calcium, and fiber on risk of stroke. *Nutr Rev*, 57: 84-91.
- Tachibana N, Fukui K, Takamatsu K, Matsumoto I, Kato H, Abe K, Arai S. 2005. Intake of soy protein isolate alters hepatic gene expression in rats. *J Agric Food Chem*, 53: 4253-4257.
- Teuber SS, Comstock SS, Sathe SK, Roux KH. 2003. Tree nut allergy. *Curr Allergy Athsma Rep*, 3: 54-61.
- Tharanathan RN, Mahadevanna S. 2003. Grain legumes – a boom to human nutrition. *Trends Food Sci Technol*, 14: 507-518.
- Thompson LU. 1977. Preparation and evaluation of mung bean protein isolates. *J Food Sci*, 42: 202-206.
- Tikkanen MJ, Vihma V, Wähälä K, Ojala S, Adlercreutz H. 1998. Effect of soybean phytoestrogen intake on low density lipoprotein oxidation resistance. *Proc Natl Acad Sci USA*, 95: 3106-3110.
- Tironi V, Añón MC. 2007. Antioxidant activity of peptides from *Amaranthus mantegazzianus*: A preliminar study on the isolation of active fractions. I Conferencia Latinoamericana ICC 2007. ICC International Conference on Cereals and Cereal Products Quality and Safety, Rosario, Santa Fé, Argentina
- Tousoulis D, Antoniadis C, Tentolouris C, Goumas G, Stefanadis C, Toutouzas P. 2002. L-arginine in cardiovascular disease: dream or reality? *Vasc Med*, 7: 203-211.
- Uenishi K. 2005. Recommended soy and soy products intake to prevent bone fracture and osteoporosis. *Clinical Calcium*, 15: 1393-1398.
- United States Department of Agriculture. 2007. National Nutrient Database for Standard Reference. Release 20. [www.nal.usda.gov](http://www.nal.usda.gov) Consultado 1/04/2008.
- USFDA. 2002. Agency response letter. GRAS Notice No. GRN 000086. [<http://www.cfsan.fda.gov/rdb/opa-g086.html>].
- Van Laar H, Tamminga S, Williams BA, Verstegen MWA, Engels M. 1999. Fermentation characteristics of cell-wall sugars from soya bean meal, and from separated endosperm and hulls of soya beans. *Animal Feed Sci Technol*, 79: 179-193.
- Varnier M, Leese GP, Thompson J. 1995. Stimulatory effect of glutamine on glycogen accumulation in human skeletal muscle. *Am J Physiol*, 269: E309-315.
- Vasco-Méndez NL, Paredes-López O. 1995. Antigenic homology between amaranth glutelins and other storage proteins. *J Food Chem*, 18: 227-238.
- Vecchi B. 2007. Péptidos de amaranto: una fuente potencial de ingredientes alimentarios. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Exactas, UNLP.
- Vega-López S, Yeum KJ, Lecker JL, Ausman LM, Johnson EJ, Devaraj S, Jialal I, Lichtenstein AH. 2005. Plasma antioxidant capacity in response to diets high in soy or animal protein with or without isoflavones. *Am J Clin Nutr*, 81: 43-49.
- Vis EH, Geerse GJ, Klaassens ES, Alink GM, Van Boekel MAJS. 2005. Possible mechanisms behind the differential effects of soy protein and casein feedings on colon cancer biomarkers in the rat. *Nutr Cancer*, 51: 37-44.

- Waliszewski KN, Pardo V, Carreon E. 2002. Physicochemical and sensory properties of corn tortillas made from nixtamalized corn flour fortified with spent soymilk residue (okara). *J Food Sci*, 67: 3194-3197.
- Waliszewski KN, Estrada Y, Pardo V. 2004. Sensory properties changes of fortified nixtamalized corn flour with lysine and tryptophan during storage. *Plant Foods Hum Nutr*, 59: 51-54.
- Wall JW, Carpenter KJ. 1988. Variation in availability of niacin in grain products. *Food Technol*, 42(10):198-204.
- Wang HJ, Murphy PA. 1996. Mass balance study of isoflavones during soybean processing. *J Agric Food Chem*, 44: 2377-2383.
- Welch GN, Loscalzo J. 1998. Homocysteine and atherothrombosis. *N Eng J Med*, 338: 1042-1050.
- Wernerman J. 2002. Further evidence for the beneficial effects of glutamine in the nutrition of ICU patients. *Nutrition*, 18: 722.
- WHO 1973. Energy and protein requirements. WHO Technical Report Series 522.
- Witte MB, Barbul A. 2002. Role of nitric oxide in wound repair. *Am J Surgery*, 183: 406-412.
- Wittig de Penna E, Carreno P, Urrutia X, Lopez L, Ballester K. 1987. Sensory evaluation and acceptability of cookies enriched with sweet lupine flour (*Lupinus albus* cv multolupa). *J Food Sci*, 52: 1434-1435.
- Yoshida S, Kaibara A, Ishibashi N, Shirouzu K. 2001. Glutamine supplementation in cancer patients. *Nutrition*, 17: 766-768.
- Yousif AK, Alghzawi HM. 2000. Processing and characterization of carob powder. *Food Chem*, 69: 283-287.
- Zafar TA, Weaver CM, Jones K, Barnes S, Moore Li DR. 2004. Inulin effects on bioavailability of soy isoflavones and their calcium absorption enhancing ability. *J Agric Food Chem*, 52: 2827-2831.
- Zuleta A, De la Casa L, Greco C, Binaghi J, Ronayne de Ferrer P. 2006. Estudio preliminar de la composición de dos variedades de semillas de piñón de araucaria. XXIX Reunión Anual de CASLAN, Tucumán, Argentina.
- Zunft HJF, Lüder W, Harde A, Haber B, Graubaum HJ, Gruenwald J. 2001. Carob pulp preparation for treatment of hypercholesterolemia. *Adv Therapy*, 18: 230-236.

## VI. Efecto de los tratamientos tecnológicos sobre la calidad nutricional y saludable de panes y productos de panadería

Patricia Ronayne

Universidad de Buenos Aires, Argentina

Carla Brites

Instituto Regional de los Recursos Biológicos, Portugal

Cristina Ferrero

Universidad Nacional de La Plata, Argentina

Marcia Arocha

Universidad Federal de Pelotas, Brasil

Alberto E. León

Universidad Nacional de Córdoba y CONICET, Argentina

Los cereales constituyen la base de la alimentación de una gran parte de la población mundial; en los países en desarrollo representan más del 50% de las calorías totales (*Food Balance Sheets*, FAO 2008). Los más cultivados son el trigo, el maíz y el arroz. Se destacan por su aporte de energía, a través de hidratos de carbono (CHO) complejos y de fibra dietética (FD) soluble e insoluble, así como por una contribución apreciable a la dieta habitual de minerales y vitaminas. Asimismo, constituyen una fuente relativamente importante, aunque incompleta, de proteínas. En los últimos años también se ha descrito que contienen fitoquímicos con posibles efectos positivos sobre la salud. Además, la tendencia a la incorporación creciente de productos integrales y granos enteros en la dieta, conduce a una maximización de los beneficios de este grupo de alimentos.

Mediante la molienda de los cereales se obtienen las harinas, entre las cuales la de trigo es la más utilizada para la elaboración del pan, que es un alimento básico para la humanidad desde la antigüedad. Se sabe que los egipcios fueron los primeros en utilizar la levadura, en tanto que en Roma el pan era un alimento de consumo habitual, que se extendió a las regiones dominadas por el Imperio Romano.

### Panes de consumo habitual elaborados a base de harina de cereales

En Europa y en los países latinoamericanos del cono sur (Argentina, Chile, Uruguay) predomina el consumo de harina de trigo sobre la de otros cereales, mientras que otros países como Venezuela y Bolivia se caracterizan, además, por un consumo importante de harina de maíz, en tanto que en México es preponderante el consumo de harinas de maíz (Morón y otros 2005).

En Latinoamérica, los panificados representan el 87% del total comercializado de productos de panadería y, de estos, el pan corresponde al 82%. Por otra parte, el pan consumido es mayoritariamente del tipo artesanal, con un escaso consumo de pan industrial. Chile es el país de mayor consumo en Latinoamérica, con valores de alrededor de 98 kg/hab/año. En Argentina, los valores son cercanos a los 72 kg/hab/año, mientras que en Brasil, México y Perú se encuentran alrededor de los 30 kg/hab/año. Venezuela presenta un consumo muy bajo, en el orden de 19 kg/hab/año (Informe Especial 2006, Lezcano 2007). En Europa, en general, se observa una reducción en el consumo de pan en los últimos años, con niveles de 58 kg/hab/año en España y valores poco más elevados en Portugal.

## Efectos de la molienda sobre el valor nutricional de las harinas

En el mundo existe una gran cantidad de tipos de pan, por lo que resulta difícil definir de manera unívoca cuál es su composición. A modo de ejemplo, en la Tabla 1 se muestran rangos de valores de composición de panes blancos e integrales (ARGENFOODS 2008, LATINFOODS 2008). En este capítulo se describen los efectos de la molienda sobre el valor nutricional de los granos y se discute en detalle la diferencia entre las harinas blancas y las integrales, que se reflejan posteriormente en los productos de panificación obtenidos de ellas.

*Tabla 1. Composición proximal de pan blanco e integral.*

*Fuente: LATINFOODS 2008, ARGENFOODS 2008*

Variedad	Energía (kcal%)	Humedad (g%)	Proteína (g%)	Lípidos (g%)	Hidratos de carbono (g%)	Fibra (g%)	Cenizas (g%)
Pan blanco	264-307	25-34	8,4-13	0,2-1,9	57-63	2,8	0,2-2,0
Pan integral	223-269	32-35	8,4-9,8	0,5-2,4	52-58	9,2	1,2-2,1

*Los rangos indicados corresponden a valores mínimos y máximos hallados en las tablas para distintos tipos de panes blancos e integrales.*

Se denomina grano al fruto seco, indehiscente, de los cereales. En estos, la semilla se encuentra envuelta por un pericarpio firmemente adherido al tegumento seminal. El pericarpio sumado al tegumento representa un 8% del peso total del grano, que a su vez está compuesto por varios tejidos con composición y estructura específica: endospermo, salvado (pericarpio, cubierta de la semilla-testa, capas hialina y aleurona) y germen (escutelo, embrión con hojas, tallos y raíz primaria rudimentarias). En la Figura 1 se observa el corte longitudinal por el surco de un grano de trigo; en la Figura 2 se presentan imágenes de granos de trigo obtenidas por

microscopía de escaneo electrónico, donde se muestran las células prismáticas del endospermo llenas de granos de almidón embebidos en proteína y la capa de aleurona con sus células cúbicas (Belderok 2000).

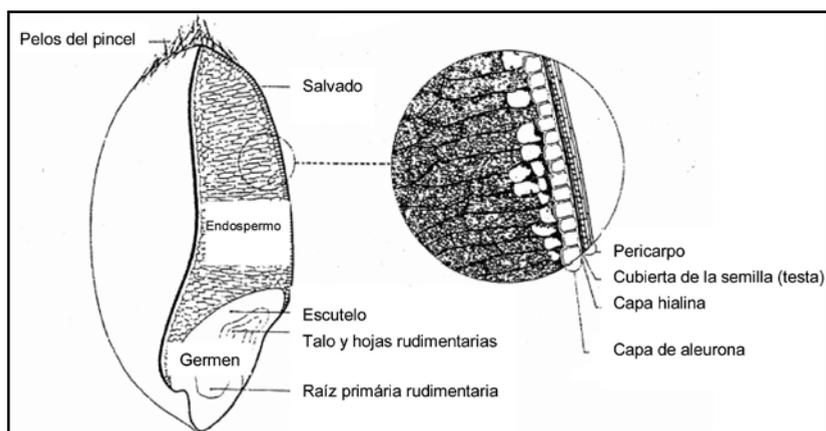


Figura 1. Corte longitudinal por el surco de un grano de trigo. Fuente: Belderok 2000.

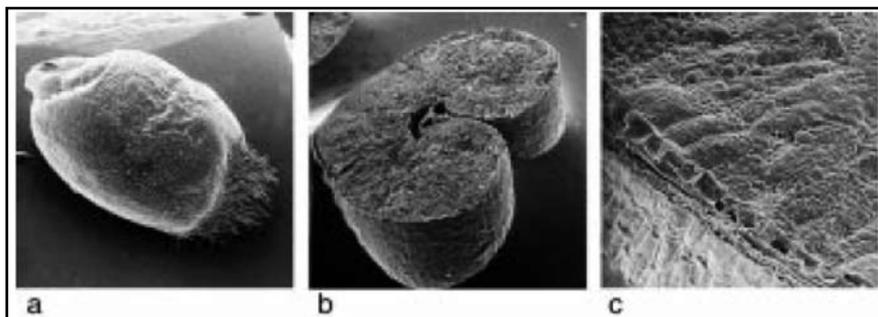


Figura 2. Imágenes de granos de trigo obtenidas por la microscopía de escaneo electrónico:  
a- Grano entero, a la derecha pelos del pincel, a la izquierda el germen.  
b- Corte transversal, a la derecha el surco.  
c- Detalle del corte transversal que explicita los diferentes tejidos. Fuente: Belderok 2000

En el proceso de molienda se separan el salvado y el germen del endospermo, que es pulverizado hasta convertirlo en harina. El endospermo, a su vez, se puede dividir en endospermo almidonoso (80-84% del grano), rico en proteínas y almidón y una capa vecina al tegumento, denominada aleurona, que es considerada botánicamente parte del endospermo, pero en realidad es el punto de ruptura del grano durante el proceso de molienda y se separa del "endospermo almidón", junto al resto de los tejidos componentes del salvado. Consiste en

una única capa de células rica en proteínas, minerales, vitaminas y FD, que representa el 7% del total del grano. En el caso del trigo, las proteínas del endospermo formadoras de gluten (gliadinas y gluteninas) son las que dan a la harina su aptitud para la panificación. El germen representa el 2,5% a 3% del peso total del grano y es fuente de lípidos y vitaminas. Cuando se molturan juntos el salvado, el germen y el endospermo, se obtiene la harina integral.

Los nutrientes están desigualmente distribuidos entre los distintos componentes del grano: el endospermo está compuesto mayoritariamente por almidón y proteínas de almacenamiento, mientras que las capas externas contienen la mayor parte de la FD y minerales (Tabla 2). Con respecto a la concentración de los componentes bioactivos en los diferentes tejidos del grano de trigo, la información bibliográfica es muy variable, debido a las diferencias en los métodos analíticos y entre las muestras (método de aislamiento del tejido, variación genética y ambiental del propio trigo). Por ello, Hemery y otros (2007) han propuesto un esquema representativo (Tabla 3) para la principal localización de los nutrientes y componentes bioactivos en los tejidos del grano de trigo sobre la base de una extensa revisión bibliográfica (O'Dell y otros 1972, Bacic y Stone 1981, Pomeranz 1988, Schwarz y otros 1988, Godon 1991, Antoine y otros 2002, Buri y otros 2004, Landberg y otros 2008).

**Tabla 2. Composición química del grano entero y de sus tejidos (% en base seca).**

*Fuente: Belderok 2000.*

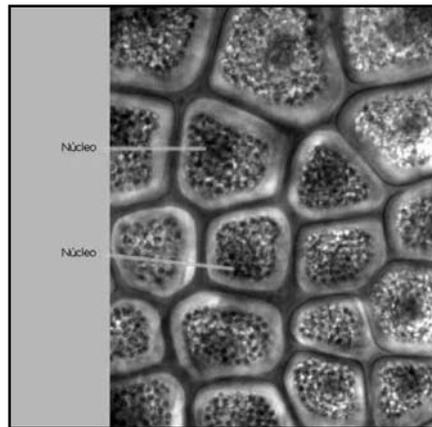
	Grano entero	Endospermo	Salvado	Germen
Proteínas	16	13	16	22
Grasas	2	1,5	5	7
Carbohidratos	68	82	16	40
Fibra dietética	11	1,5	53	25
Minerales (cenizas)	1,8	0,5	7,2	4,5
Otros componentes	1,2	1,5	2,8	1,5
Total	100	100	100	100

La FD insoluble se concentra en las capas externas del grano. Está compuesta principalmente por paredes celulares constituidas por celulosa, cutículas y xilanos complejos con alta relación arabinosa/xilosa y dihidrodímeros de ácido ferúlico, que actúan como ligamentos entre las cadenas de polímeros (Hemery y otros 2007). El pericarpio y la testa contienen también cantidades significativas de lignina, un polímero fenólico que incrusta los polisacáridos estructurales. La testa posee la mayor parte de los alquilresorcinoles (lípidos fenólicos con propiedades antioxidantes) presentes.

La capa de aleurona es, desde el punto de vista nutricional, un tejido de excelencia, compuesto por células que aportan componentes bioactivos antioxidantes (Esposito y otros 2005, Zhou y otros 2004), envueltos por espesas paredes celulares, muy rico en proteínas y enzimas que desempeñan un papel vital en el proceso de germinación. En la Figura 3 puede observarse el aspecto de la capa de aleurona de un

grano de trigo (*Triticum aestivum*) obtenida mediante un corte tangencial, en la cual resaltan el núcleo y las paredes celulares. Estas representan más de un tercio del volumen celular y están compuestas por arabinoxilanos lineales con baja relación arabinosa/xilosa (Saulnier y otros 2007), con alto contenido de ácido ferúlico, de reconocido poder antioxidante (Rhodes y otros 2002). Comparada con los otros tejidos, la capa de aleurona contiene mayores niveles de  $\beta$ -glucanos, con un alto contenido de FD soluble. También posee una elevada concentración de proteínas con adecuada composición en aminoácidos (sobre todo en lisina) (Buri y otros 2004, Rhodes y Stone 2002), la mayor parte de las vitaminas del complejo B y alrededor de la mitad del contenido de minerales del grano (Antoine y otros 2002, Pomeranz 1988). Además, es muy rica en lignanos (Buri y otros 2004), polifenoles con actividad antioxidante que poseen la capacidad de modular los efectos de los estrógenos (Qu y otros 2005).

La capa de aleurona tiene un alto contenido de ácido fítico, en la forma de fitatos, que es considerado un antinutriente por atrapar los minerales, aunque también se ha descrito su poder antioxidante y efecto beneficioso contra la carcinogénesis (Yang y Shamsuddin 1995, Harland y Morris 1995).



**Figura 3. Aspecto de la capa de aleurona de un grano de trigo (*Triticum aestivum*) obtenida mediante un corte tangencial. (400x).**

[www.inea.uva.es/servicios/histologia/53.htm](http://www.inea.uva.es/servicios/histologia/53.htm) Consultado 24/03/2008

Las vitaminas presentes en mayores cantidades en los granos de cereales son las del grupo B (tiamina, riboflavina, piridoxina, niacina y ácido pantoténico) y E (tocoferoles y tocotrienoles). Más del 70% de la tiamina, la niacina y la piridoxina están localizadas en la capa de aleurona, el escutelo y el germen. La riboflavina y el ácido pantoténico están más uniformemente distribuidos, pero más del 45% se encuentra en las capas externas del grano (Hinton y Shaw 1954). El germen es un concentrado de vitaminas del complejo B, minerales (sobre todo magnesio y manganeso), lípidos (Pomeranz 1988),  $\beta$ -tocoferol (antioxidante) y fitoesteroles (Nystrom y otros 2007). Las paredes celulares del endospermo (alto en almidón y proteínas) corresponden

a 2%-7% del total del tejido y contienen alrededor del 25% de los arabinosilanos presentes en el grano (Barron y otros 2007).

La molienda es el proceso por el cual los granos, después de ser limpiados de partículas extrañas y acondicionados hasta un contenido de humedad óptimo, se someten a una trituration, pasándolos por cilindros estriados y luego, a través de cilindros lisos, se reduce el producto obtenido a un tamaño de partícula más fino. Como ya se mencionó, durante esta operación se separan el germen y las capas más externas del grano, incluyendo la aleurona, que en conjunto constituyen el salvado, rico en FD, vitaminas y minerales. La molienda afecta el valor nutricional del grano de dos maneras: por un lado, la separación de las diferentes partes impacta sobre su valor nutricional debido a una modificación en la composición. Por otro lado, reduce el tamaño de partícula y esto afecta el índice glicémico (IG) y el contenido de almidón resistente (AR) (véanse capítulos II y IV). La dimensión de la pérdida depende del grado de extracción, que es la proporción (en peso) de harina blanca obtenida a partir de la molienda de una cantidad de cereal y constituye un parámetro de rendimiento. Si el grado de extracción es de 100%, se obtiene harina integral, en tanto que la harina blanca comercial tiene un grado de extracción inferior al 75%. Al quitar las capas más externas durante la molienda, se obtiene un producto más rico en CHO y con mayor proporción de proteínas formadoras de gluten, pero que ha perdido parte de proteínas, FD, lípidos y minerales (Figura 4). Cuanto mayor es el grado de extracción, mayor valor nutricional tiene el producto, ya que retiene mayor cantidad de nutrientes respecto a las cantidades originales presentes en el grano.

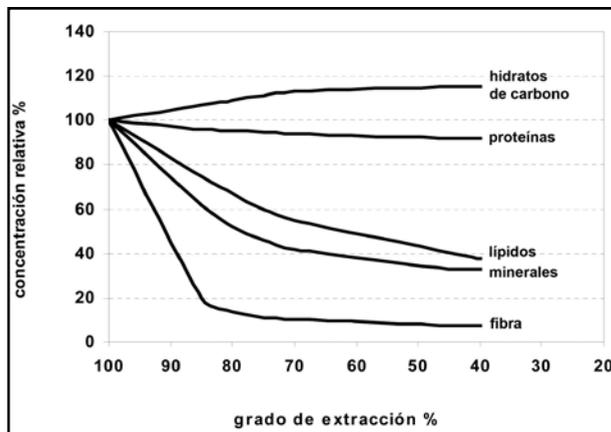


Figura 4. Concentración relativa de los componentes de harina de trigo en función del grado de extracción. Adaptado de: Kent 1983

La molienda no sólo reduce el contenido de proteínas de la harina, sino que además cambia la composición en aminoácidos. Con un grado de extracción de alrededor del 85%, la mayor pérdida es el pericarpio, que tiene un bajo contenido de proteínas, pero a menores grados de extracción se elimina también la capa de aleurona y el germen con altas concentraciones de proteína, aminoácidos

esenciales, vitaminas, minerales y antioxidantes. En general, las harinas aptas para panificación representan alrededor de 70% del peso del grano sin moler y sus componentes provienen fundamentalmente del endospermo, que contiene aproximadamente el 70% de las proteínas. Cerca del 80% de estas proteínas está constituido por gliadinas y gluteninas. Dentro del endospermo, la concentración proteica aumenta del centro a la periferia.

El aminoácido limitante en la proteína de trigo es lisina que, junto con arginina, ácido aspártico y alanina, están presentes en mayor cantidad en las capas más externas del grano y en el germen. Los principales aminoácidos presentes en el endospermo son ácido glutámico y prolina, por lo que aparecen en mayores concentraciones en las harinas refinadas con respecto al trigo entero. El valor biológico de las proteínas del germen y la aleurona es más alto que el de las proteínas del endospermo, con un contenido de lisina entre 2 y 2,5 veces mayor (Kent 1983). El contenido de lisina es de 3,87% en la proteína total, pero asciende a 11,84% en las globulinas y a 4,51% en albúminas, mientras que en las prolaminas es del 2,45% (Mac Masters y otros 1978). En consecuencia, durante la molienda, si bien el contenido proteico no se altera sustancialmente, sí lo hace el contenido de lisina; esta deficiencia puede ser corregida por suplementación o complementación proteica.

El contenido de almidón aumenta al disminuir el grado de extracción, por lo que es mayor en el pan blanco respecto al pan integral (47,9% y 39,7%, respectivamente) (Kent 1983). La FD soluble se concentra en el endospermo, su contenido es independiente del grado de extracción y alcanza a alrededor de 1,3%, en cambio la FD insoluble se reduce drásticamente con la disminución en el grado de extracción (Figura 4), en especial cuando ésta cae por debajo del 87%, que es cuando el salvado y el germen son eliminados. Así, la FD en la harina blanca es un 30% de la que se encuentra en la harina integral. La composición cualitativa de la FD no es muy diferente en el trigo entero y la harina más refinada, con excepción de la lignina, que solamente está presente en la harina integral (alrededor de un 2%).

En su estado natural, el trigo es una buena fuente de tiamina, riboflavina, niacina, piridoxina, tocoferoles, hierro y zinc. Las vitaminas se pierden en parte durante la molienda (Figura 5). La harina blanca tiene alrededor del 40% de tiamina y riboflavina y alrededor de un 30% de niacina y folato respecto a la harina integral. La pérdida de vitamina E (tocoferoles) es considerable, ya que por ser liposoluble y estar concentrada en el germen, su contenido baja significativamente durante la molienda, aunque parte del contenido lipídico se distribuye a las otras fracciones debido a la rotura durante la molturación (*The Grains Research Co* 2008). Una situación similar fue observada en el arroz por Hegedüs y otros (1985), con pérdidas considerables de tiamina, niacina y hierro. Las pérdidas de vitaminas fueron de un 70% a 80% y el contenido más bajo correspondió al arroz muy refinado, con un 5% del folato y un 10% de la niacina de las cantidades iniciales presentes en el arroz sin descascarillar.

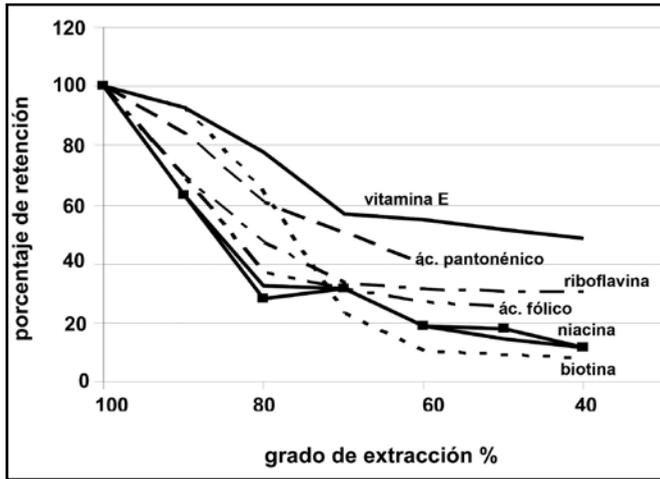


Figura 5. Porcentaje de retención de diversas vitaminas en función de grado de extracción de la harina. Adaptado de: Aykroyd y Doughty 1970

Una forma de compensar la pérdida de nutrientes durante la molienda es mediante el agregado de vitaminas B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, niacina, hierro y, en algunos casos, calcio y folato. Los niveles de B<sub>1</sub>, niacina y hierro que se agregan suelen ser equivalentes a la cantidad que se pierde durante la molienda. En el caso de que se adicione algún nutriente en mayor cantidad que la naturalmente presente, se indica que la harina está fortificada, proceso que se indica cuando la dieta de la población es deficiente en algún nutriente específico (MOSTPROJECT 2008). Para garantizar una concentración adecuada y uniforme de micronutrientes se emplean premezclas más concentradas que luego se agregan a la harina. En la Tabla 4 se muestra un ejemplo de composición de premezcla empleada en Estados Unidos, que se agrega luego a la harina en proporción de 72 g/tonelada de harina.

Tabla 4. Composición de premezcla para fortificar harinas en Estados Unidos

Fuente: MOSTPROJECT 2005.

Nutriente	Nivel (mg/kg harina)	Forma del producto	Premezcla (g/kg)
Vitamina B <sub>1</sub>	4,45	Mononitrato de tiamina	61,8
Vitamina B <sub>2</sub>	2,65	Riboflavina	36,9
Niacina	35,62	Nicotinamida	494,7
Hierro	30,20	Hierro reducido	406,6

Tabla 3. Representación esquemática de la localización de los componentes en los tejidos del grano. Fuente: Hemery y otros 2007

	Pericarpio	Testa	Aleurona	Endospermo	Germen
Proporción (%) del grano	4-5	1	6-9	80-85	2-4
Fibras insolubles	***	***	**	*	**
Fibras solubles	-	-	*	**	*
Paredes celulares					
Xilanos	***	***	***	*	*
$\beta$ -Glucanos	-	-	***	*	*
Celulosa	***	**	-	-	-
Lignina	**	***	-	-	-
Proteínas	-	-	**	**	*
Lípidos	-	*	*	-	***
Almidón	-	-	-	***	-
Vitaminas B					
Tiamina (B <sub>1</sub> )	-	-	*	-	***
Riboflavina (B <sub>2</sub> )	-	-	*	-	***
Niacina	-	-	***	-	*
Ácido Pantoténico	-	-	**	-	*
Piridoxina (B <sub>6</sub> )	-	-	***	-	**
Biotina	-	-	***	-	*
Folato	-	-	***	-	**
Vitamina E					
$\alpha$ -Tocoferol	-	-	*	-	***
$\alpha$ -Tocotrienol	-	-	*	-	*
Minerales					
Magnesio	*	*	***	-	**
Fósforo	*	*	***	-	*
Manganeso	*	*	**	-	**
Zinc	*	*	**	-	*
Hierro	*	*	**	-	*
Ácido fitico	-	-	***	-	*
Alquilresorcinoles	-	***	-	-	-
Ácido ferúlico	*	*	***	*	**
Fitoesteroles	-	*	**	-	***
Lignanos	-	-	***	-	-

\*, \*\*, \*\*\*: indica si el componente está presente, concentrado o altamente concentrado:

-: indica que el componente no está presente o presente en muy baja concentración.

No se ha considerado la proporción del endospermo para compararlo con los otros tejidos.

Durante la molienda se llega a diferentes tamaños de partícula, que caracterizan el producto obtenido e influyen sobre las propiedades del almidón. El IG, medida del aumento del nivel de glucosa en sangre entre las dos y tres horas posteriores a la ingesta de un alimento rico en CHO, es afectado por el tamaño de partícula del almidón ingerido (véase capítulo II). El IG del trigo, maíz y avena es creciente desde el grano entero (IG más bajo), el grano partido, la harina gruesa, a la harina de granulometría fina (IG más alto) (Heaton y otros 1988). La digestión más rápida de una harina se debe al acceso más fácil de la amilasa al almidón cuando la relación superficie/volumen de las partículas alimentarias se incrementa y, al mismo tiempo, las paredes celulares son rotas.

Un componente indeseado del grano, cuya presencia disminuye durante la molienda, es el ácido fítico (inositol hexafosfórico), más abundante en la capa de aleurona (90% se concentra en esta fracción). El ácido fítico forma complejos insolubles con calcio, hierro y zinc, disminuyendo su absorción, por lo que constituye un factor antinutricional. Las harinas integrales o con alto grado de extracción tienen mayor contenido, pero es posible reducirlo a través del uso de fitasas. Aunque en las capas externas del grano se localiza gran parte de los nutrientes, también es allí donde los tejidos son más fácilmente contaminados por microorganismos (Laca y otros 2006), se concentran las micotoxinas, los metales pesados y los residuos de pesticidas (Eugster 2005, Fleurat-Lessard y otros 2007) y componentes que causan inestabilidad, como los lípidos.

En general, los compuestos saludables están atrapados en estructuras celulares rígidas, lo que dificulta su biodisponibilidad, por lo que es necesario desarrollar la tecnología de fraccionamiento para separar eficazmente los nutrientes. Los procesos tecnológicos se fundamentan en tratamientos al grano (físicos, químicos o enzimáticos) previos a la molienda, en combinación con fricciones secuenciales, fragmentación y separación histológica de los salvados. Los tratamientos previos a la molienda comprenden cambios en el contenido de humedad de los granos, aumento o disminución de la temperatura de acondicionamiento y exposición a radiación UV (Hemery y otros 2007). La adición de agua al grano y difusión desde el pericarpio hasta el endospermo, conocida como acondicionamiento, es un tratamiento previo generalizado en la molienda. La humedad óptima facilita la separación endospermo/salvado (suaviza el endospermo y endurece el salvado) y permite la posterior tamización de las fracciones obtenidas (Glenn y Johnston 1992, Mabile y otros 2001). Otro medio para facilitar la fragmentación y disociación de los tejidos del grano es la disminución de la temperatura. La aplicación de nitrógeno líquido para refrigeración criogénica no ha sido muy usada en los granos de cereales, pero su efecto positivo ha sido demostrado en la molienda de especias (Singh y Goswami 1999, Schweiggert y otros 2007). Las ventajas de la refrigeración criogénica, respecto a la molienda a temperatura ambiente, incluyen el incremento de la fractura, la eliminación de la adhesividad y la aglomeración de partículas, la disminución del tamaño de las partículas y la protección de componentes termolábiles (Gouveia y otros 2002).

La aplicación de radiaciones UV al grano de trigo duro ha sido investigada por Peyron y otros (2002) que evaluaron el contenido en ácido ferúlico de los tejidos periféricos y detectaron la formación de nuevas uniones entre los arabinoxilanos ferulilados y ligninas.

Los tratamientos químicos previos a la molienda pueden incluir agentes químicos o enzimas añadidas en el acondicionamiento (Haros y otros 2002, Rosell 2003, Moore y otros 2006),

que cambian la composición de los tejidos y las propiedades físicas del grano. El proceso puede también ser el vehículo de adición de fitasas para reducir el contenido de fitatos de las harinas integrales (Rosell 2003). La Tabla 5 muestra la reducción del contenido en fitatos de la masa, lo que incrementa la biodisponibilidad de los minerales, sobre todo de fósforo. Moore y otros (2006) investigaron la influencia de los tratamientos previos con enzimas en la liberación de los antioxidantes ligados e insolubles, y concluyeron que más del 50% del ácido ferúlico insoluble y ligado se convierte a una forma soluble, lo que indica que este tratamiento mejora la biodisponibilidad en ácidos fenólicos del salvado.

**Tabla 5. Contenido en fitatos de la masa proveniente de trigo acondicionado con diferentes concentraciones de fitasa. Fuente: Rosell 2003**

<b>Concentración de Fitasa (U/100g grano)</b>	<b>Fitatos (%)</b>
<b>0</b>	<b>100,0</b>
<b>160</b>	<b>85,9</b>
<b>320</b>	<b>77,8</b>
<b>640</b>	<b>73,7</b>
<b>960</b>	<b>71,1</b>

La adición de agentes químicos, como cloruro de calcio, en el remojo del grano de trigo produce modificaciones sobre las propiedades mecánicas de las capas externas debido a cambios en la actividad de la peroxidasa, lo que altera el perfil de ácidos fenólicos de las paredes celulares, y aumenta el contenido de ácido p-cumárico (Desvignes y otros 2006). El tratamiento con ozono también modifica las propiedades mecánicas de las capas externas, ya que genera una reducción del porcentaje de almidón dañado y enriquecimiento del contenido celular del tejido aleurona (Desvignes y otros 2008).

Los procesos tecnológicos que se desarrollan en la actualidad tienen como objetivo la separación de fracciones de interés, como el germen y la capa de aleurona, el enriquecimiento de los productos de la molienda y la eliminación de los contaminantes químicos y microbiológicos (Eugster 2005). La remoción del germen antes de la molienda (Posner y Li 1991) tiene la ventaja de no trocear el embrión y evitar daños en el germen y en la harina que causan inestabilidad, en particular el deterioro de lípidos por enzimas hidrolíticas. En el perlado y pulido del arroz se aplica una molienda con fricción y abrasión secuenciales, en los que el salvado se extrae mediante sucesivas fricciones entre un cono abrasivo. Estos procesos han sido adaptados para el trigo, cambiando los equipos de perlado y los tratamientos previos a la molienda y se han obtenido granos perlados preservando la capa de aleurona (Dexter y Wood 1996). Hemery y otros (2007) han realizado una compilación de las diferentes tecnologías patentadas. Para la separación histológica de los salvados se pueden combinar diferentes métodos que separan por

tamaño, masa, densidad y carga de partícula. La separación electrostática de partículas de harina con carga (con diferentes propiedades dieléctricas y/o diferente polarización eléctrica) permite obtener una fracción en polvo con 90% del tejido de la capa de aleurona (Behrens y otros 2004, Buri y otros 2004, Laux y otros 2006).

El desarrollo de métodos innovadores para el tratamiento previo, la molienda y la separación de las diferentes fracciones del grano abre posibilidades para la obtención de harinas y otras fracciones con calidad nutricional mejorada y a la producción de panes funcionales elaborados con compuestos del propio trigo.

## Efecto de la utilización de masa madre

La masa madre es un ingrediente que contiene cereales, líquidos y microorganismos activos. Corresponde a una masa de un proceso de panificación anterior, es un cultivo simbiótico de levaduras (*Saccharomyces cerevisiae*) y bacterias lácticas (*Lactobacillus brevis* y *Lactobacillus plantarum*) y ha sido muy utilizado en panificación como fermento natural, especialmente en la elaboración de panes de centeno. Su empleo en panificación favorece la calidad tecnológica de la masa (Clarke y otros 2002, 2004), generando componentes de flavor y aroma, protege la fermentación panaria frente a fermentaciones perjudiciales (Rosenquist y Hansen 1998) y mejora la conservación del pan (Crowley y otros 2002, Dal Bello y otros 2007), inhibiendo el crecimiento de mohos y bacterias indeseables.

Desde el punto de vista nutricional, el efecto más notable de la adición de masa madre es que genera acidez continuamente, debido a la fermentación por acción de las levaduras y bacterias, por lo que los valores de pH oscilan entre 4 y 4,5. El efecto de los ácidos orgánicos en la reducción de la respuesta postprandial de glucosa e insulina de la sangre ha sido demostrado en individuos sanos (Liljeberg y otros 1995, Liljeberg y Björck 1996). La presencia del ácido láctico reduce la digestión del almidón del pan (Östman y otros 2002); sin embargo, este efecto sólo es notable cuando está presente durante la panificación, porque reduce la hidrólisis del almidón, promueve interacciones gluten/almidón e impide el acceso de las enzimas amilolíticas a los almidones cocidos (Östman y otros 2002). Östman y otros (2005) estudiaron el efecto de la adición de ácido láctico antes y después de la cocción del pan en el metabolismo de ratones hiperinsulinémicos y concluyeron que la adición durante la panificación implica una reducción de 8% en el IG y no encontraron beneficio en la tolerancia a la glucosa cuando añadieron el ácido directamente al pan.

En referencia a los minerales, estudios en animales de experimentación alimentados con pan elaborado con masa madre han mostrado un incremento en la biodisponibilidad de hierro, zinc y magnesio (López y otros 2003, Chaoui y otros 2006).

Otro aspecto nutricional importante relacionado con la utilización de las masas madres en panificación es la acción proteolítica de las bacterias lácticas, que contribuyen a la degradación del gluten y mejoran su tolerancia en individuos celíacos (Di Cagno y otros 2002, Rizzello y otros

2007). Es innegable que la utilización de masa madre en los procesos panarios proporciona productos finales con mejores propiedades organolépticas, pero su ventaja nutricional no puede ser ignorada.

## Uso de aditivos

Son muchos los aditivos que se adicionan para ayudar a resolver los defectos de las harinas que se utilizan en productos de panificación. En general, facilitan el trabajo del panadero, disminuyen el tiempo de fabricación y aseguran una calidad final óptima. Sin embargo, no siempre traen ventajas, ya que en dosis elevadas alteran el sabor característico del pan y modifican el aspecto de las hogazas (Calaveras 1996).

Los hidrocoloides agrupan macromoléculas hidrofílicas (proteínas, polisacáridos) ampliamente usadas como aditivos espesantes o gelificantes para otorgar características texturales a los alimentos (Glicksman 1982). Entre ellas se destacan los CHO de alto peso molecular (PM), de diverso origen: de algas (carragenanos, agar, alginatos), microbianos (dextrano, goma xántica, gelano), extractos de plantas superiores (pectinas), de semillas (galactomananos como goma guar, garrofín), exudados vegetales (goma arábica, tragacanto, karaya). De acuerdo con su estructura química, estas moléculas pueden clasificarse en homo o heteropolisacáridos, lineales o ramificados, con o sin carga, características que determinan su funcionalidad como aditivos.

Por su hidrofiliidad, los hidrocoloides se utilizan como agentes de retención de humedad. La alta viscosidad que pueden otorgar al medio les confiere, en mayor o menor grado, propiedades estabilizantes de espumas y emulsiones y de inhibición de cristalización. En panificación, al emplearlos como agentes de retención de humedad extienden la vida útil del producto (Stauffer 1990) y actúan como mejoradores de las características de la masa panaria y del producto terminado (Collar y otros 1999, Rosell y otros 2001). También se emplean como estabilizantes en masas congeladas, para mejorar la calidad de los panes (Ribotta y otros 2001, Dodic 2007). Los más utilizados son: goma xántica, agar, exudados vegetales, carragenanos y alginatos, celulosas modificadas (principalmente hidroxipropilmetilcelulosa y metilcelulosa) y galactomananos. En general, las concentraciones empleadas, cuyo nivel óptimo se determina empíricamente, deberían estar entre 0,2% y 1,2% del agua disponible en la formulación (Stauffer 1990), es decir, aproximadamente entre 0,1 y 0,7 g de hidrocoloide por cada 100 g de harina utilizada en la panificación, aunque la única vía de asegurar el nivel adecuado de hidrocoloide para una formulación es la empírica. Por su gran hidrofiliidad, la incorporación de este aditivo en la masa produce la necesidad de incorporar un suplemento de agua, en particular en el caso de la goma xántica (Linlaud y otros 2007).

Desde el punto de vista nutricional, los polisacáridos son considerados parte de la FD. Teniendo en cuenta que la definición actual de FD es un concepto amplio, que incluye criterios fisiológicos (AACC 2001), los polisacáridos incorporados como aditivos pueden ser considerados parte de esta fracción. Si bien no existen enzimas en los mamíferos monogástricos capaces de degradar este tipo de moléculas, sí pueden servir de sustrato a la flora microbiana, especialmente a nivel del colon,

liberando nutrientes para el organismo huésped. Esta definición, de carácter fisiológico, desplazó a la antigua, definida como el conjunto de aquellos polisacáridos intrínsecos de la pared celular (Trowell 1972) (véase capítulo IV). Según la *American Dietetic Association* (1997), la recomendación de ingesta de FD es de 25 a 35 g diarios o de 10 a 13 g/1000 kcal. Si bien en el pan blanco el contenido de fibra es bajo, un efecto adicional del agregado de hidrocoloides estabilizantes y/o conservantes es el aumento del nivel de FD, aunque por las concentraciones requeridas para lograr el efecto estabilizante no siempre ese incremento resulta significativo desde el punto de vista nutricional. Un mejor resultado se puede lograr por agregado directo de FD soluble (pectinas, hemicelulosa, gomas) o insoluble (celulosa, hemicelulosa, lignina) (Stauffer 1990).

## Horneado

Durante los primeros minutos dentro del horno, la masa expande su volumen rápidamente, lo que se denomina "salto de horno". Los factores responsables de este fenómeno son diversos: las levaduras se tornan más activas durante un breve tiempo debido al aumento de temperatura y producen más dióxido de carbono; el gas formado se expande al calentarse y el agua del interior de la masa se convierte en vapor. Cuando la temperatura alcanza los 60 °C mueren las levaduras y el almidón comienza a gelatinizarse. En una segunda fase, a 60-79 °C, las proteínas coagulan, proceso en el que parte del agua se libera y es atrapada por el almidón, en tanto que las proteínas coaguladas se adhieren a la superficie como una especie de cubierta elástica que mantiene en su interior las burbujas de aire. Durante esta segunda fase, la gelatinización continúa, las moléculas de cadena lineal de amilosa migran fuera de los gránulos. La amilasa en contacto con el agua forma redes gelatinosas alrededor de los amiloplastos, los que empiezan a perder su estructura cristalina en cuanto se embeben de agua, se expanden y ablandan. El proceso de gelatinización aumenta la digestibilidad del almidón.

En la segunda y última fase de cocción terminan los procesos descritos y el pan se seca: su color y flavor comienzan a cambiar, surgiendo el aroma típico del pan recién horneado. Como resultado de la alta temperatura en la superficie, el producto toma una coloración marrón debido a las reacciones químicas entre los azúcares reductores y los aminoácidos, formando melanoidinas (reacción de Maillard). También se generan furanos, pirazinas y otros compuestos responsables del aroma característico. Las reacciones de Maillard reducen la digestibilidad proteica y la biodisponibilidad de la lisina, sólo a nivel de la corteza. Por otra parte, el proceso de cocción puede ocasionar pérdidas de vitaminas del grupo B, en el orden de 15% a 20% en general y hasta un 50% en el caso de la tiamina (Belitz y Grosch 1997).

Normalmente, la etapa de crecimiento en el horno dura menos de diez minutos, el resto del tiempo de cocción asegura que el centro se aproxime a los 100 °C. Se debe considerar que el pan es un producto húmedo, por lo que la temperatura no puede exceder los 100 °C, de lo contrario se seca. La única parte que se debe secar es la corteza, lo que ocurre en la última parte del ciclo de cocción, por lo cual se oscurece.

## Almacenamiento

El pan experimenta grandes transformaciones durante su almacenamiento. El envejecimiento incluye dos procesos con diferentes características: la pérdida de crujibilidad de la corteza y el endurecimiento de la miga. Al salir del horno, la corteza es muy seca y tiene una temperatura de aproximadamente 200 °C, en tanto que el interior no supera los 90-95 °C y está todavía húmedo. Durante el enfriamiento, estas diferencias comienzan a disminuir: la humedad difunde al exterior y la temperatura de la corteza desciende. Al mismo tiempo, el almidón retrograda y el volumen de gas englobado disminuye y su presión baja a un nivel menor que el del aire que circunda al pan.

Las modificaciones en la corteza se deben, fundamentalmente, a una transferencia de agua desde la miga, produciendo una pérdida de crujibilidad y una textura gomosa. Durante el envejecimiento, las moléculas de agua condensada se distribuyen por todo el pan y eventualmente difunden a través de la corteza, desde donde se evaporan. Por lo tanto, almacenar el pan protegido del aire ayuda a retardar este proceso. El envejecimiento de la miga es más complejo, y sus consecuencias conducen a un mayor rechazo por parte del consumidor. En un principio se pensó que la pérdida de humedad a favor de la corteza explicaba el endurecimiento de la miga, pero ya en 1852, Boussingault almacenó herméticamente miga de pan, libre de corteza, y comprobó que aunque el contenido de humedad no variaba, la miga endurecía (Gray y Bemiller 2003). Aún hoy se discuten los mecanismos implicados, ya que es imprescindible entenderlos para desarrollar una correcta estrategia para prevenirlo.

A principios del siglo pasado se había observado que el patrón de difracción de rayos X del pan fresco era similar al del almidón recientemente gelatinizado, mientras que el del pan duro se asemejaba al retrogradado, por lo que se propuso que el paso de un estado amorfo a uno cristalino de los polímeros que constituyen el almidón era el principal responsable del endurecimiento (Katz 1928). Años después, Hellman y otros (1954) aportaron elementos para esta teoría, al demostrar que la velocidad de desarrollo de cristalinidad y la de endurecimiento del pan eran similares. Sin embargo, posteriormente se encontraron situaciones en las que los incrementos en la velocidad de recristalización y la de endurecimiento no ocurrían en forma simultánea, por lo que se postuló que ambos procesos sucedían durante el almacenamiento, pero que no tenían vinculación entre sí (Dragsdorf y Varriano-Marston 1980). Otro elemento en discusión ha sido si la principal contribución al proceso la realiza la amilosa o la amilopectina. La fracción lineal retrograda más rápidamente, por lo que se postuló que se debía a la formación de asociaciones laterales entre las cadenas lineales, pero el pan calentado a 50 °C recupera su terneza, evidencia que echó por tierra esta teoría, ya que la amilosa no puede fundir a esa temperatura. Ante estos resultados se propuso que la responsable era la amilopectina (Knightly 1977). En la actualidad, numerosos trabajos muestran que si se calienta en un calorímetro miga de pan recién horneado, no se observa ningún pico, mientras que a medida que transcurre el tiempo de almacenamiento comienza a aparecer una endoterma correspondiente a la retrogradación del almidón (León y otros 1997 a, b). En tanto, la amilosa se considera responsable de la firmeza inicial del pan, pero no está involucrada en el proceso de endurecimiento (Hoseney y otros 1978).

También se le ha adjudicado un papel en el endurecimiento del pan a las proteínas (Kim y D'Appolonia 1977). Diferentes investigadores sugirieron que las proteínas del gluten reducen la velocidad de endurecimiento durante el almacenamiento, que no tiene incidencia sobre la velocidad, pero afecta la firmeza inicial y que las interacciones entre las proteínas y el almidón son las responsables del proceso (Gray y Bemiller 2003). Este sería el resultado de los puentes de hidrógeno que se establecen entre la fracción de los gránulos de almidón gelatinizados durante el horneado y las proteínas del gluten, de manera tal que se produce la unión de la red continua de gluten y la estructura discontinua de los amiloplastos (Martin y otros 1991). Sin embargo, la presencia de gluten no es imprescindible para que este proceso ocurra, como es el caso de los productos de panificación libres de gluten y como se demostró en experiencias donde se estudió el efecto de diferentes concentraciones de gluten sobre la retrogradación de amilopectina y el endurecimiento de geles de almidón (León y otros 1997 a, b). En síntesis, el envejecimiento del pan es un proceso complejo sobre el que se pueden establecer las siguientes conclusiones:

- La pérdida de crujibilidad de la corteza se debe a la transferencia de agua desde la miga, lo que provoca la transformación de un estado de "vidrio" a un estado de "goma".
- La retrogradación de la amilosa está comprometida fundamentalmente en la dureza del pan recién elaborado, pero no participa en el endurecimiento durante el almacenamiento.
- No puede considerarse que sólo la retrogradación de la amilopectina sea responsable del envejecimiento, a la luz de las evidencias sobre las interacciones que se establecen entre las proteínas del gluten y el almidón; además, la transferencia de humedad afecta la velocidad de endurecimiento. Por ello, es probable que diversos factores estén implicados en este fenómeno, pero la mayor cantidad de información apunta en el sentido de que la retrogradación de la amilopectina juega un papel central.

El pan envejece más lentamente a temperatura ambiente (15-20 °C) que a temperaturas de refrigeración. No debe refrigerarse, ya que en esta condición el proceso ocurre seis veces más rápido. Si se congela, debe hacerse rápido para evitar que permanezca a temperaturas próximas a 0 °C. Una buena práctica es mantenerlo en envases herméticos a temperatura ambiente.

Estos procesos tienen incidencia sobre las propiedades nutricionales de los productos de panificación, ya que el almidón retrogradado forma parte del almidón resistente tipo 3 (Englyst y otros 1992).

## Factores que afectan el contenido y la biodisponibilidad de micronutrientes

El término biodisponibilidad se refiere a la proporción de un nutriente o factor alimentario que es absorbido y utilizado para las funciones metabólicas que le son propias. Entre los principales factores que influyen sobre ella se pueden mencionar las características de la matriz alimentaria y la presencia

de componentes de la dieta que pueden interactuar con el compuesto, así como su forma intrínseca (Gregory 2000). En el caso particular de los minerales, la presencia de ligandos promotores o inhibidores tiene gran influencia sobre su utilización. Los procesos tecnológicos pueden provocar cambios en el contenido y/o biodisponibilidad de los nutrientes.

La tiamina (vitamina B<sub>1</sub>) es sensible al calor y su inestabilidad es mayor en medio alcalino, su destrucción en la corteza del pan alcanza un 20% en condiciones normales (Bender 1978). También se deteriora en presencia de bromato, empleado como mejorador de harinas, cuyo uso actualmente está prohibido en los países que forman parte del MERCOSUR y en Europa. Como ya se mencionó, en la molienda de los cereales, la eliminación de las cubiertas externas disminuye en forma importante su contenido. Es bien sabido que en el Oriente el consumo de arroz blanco decortinado como alimento básico provocaba el beriberi, debido a la pérdida de tiamina en el proceso de descascarillado; este problema, además, se veía agravado por el alto consumo de té, que contiene factores anti-tiamina termoestables. Por el contrario, en la India y Pakistán, a pesar de que el consumo de arroz era importante, no se observaba tanta prevalencia de beriberi. Ello se debía a la forma de preparación, llamada parboilizado, realizada para favorecer el decortinado, que consistía en sumergir al grano entero en agua caliente, luego cocinar al vapor y después secar los granos. Además de facilitar el descascarillado, esto llevaba a un aumento del valor nutritivo debido a que provocaba una migración de vitaminas y minerales desde los tegumentos externos hacia el endospermo. Por otra parte, también se gelatinizaban las capas externas y se favorecía la retención de la capa de aleurona, que tiene proteínas de buena calidad. Esta idea se ha retomado a nivel tecnológico, produciéndose un arroz denominado parboilizado o autointegrado que, comparado con el arroz blanco común, contiene de cinco a diez veces más tiamina (Koetz y Neukom 1977).

La niacina es la vitamina más estable, pero en los cereales se caracteriza por su baja disponibilidad. En los granos de maíz inmaduros aparece como coenzima biológicamente disponible para el metabolismo, en tanto que en los maduros se produce una unión con CHO, que es la forma de retención de la vitamina, lo que la hace no disponible (Wall y otros 1988). Luego del descubrimiento de América, la introducción del maíz en ciertas regiones de Europa trajo como consecuencia la aparición de pelagra, enfermedad producida por la deficiencia de niacina. Ello se atribuyó al bajo nivel de niacina y de triptofano (que genera niacina como producto de su metabolismo) en el cereal. Sin embargo, la pelagra era virtualmente desconocida en México, donde el maíz había sido siempre la base de la alimentación. La diferencia radicaba en el tratamiento previo del cereal. La preparación de la tortilla elaborada con maíz, o nixtamalización, como se describe en el capítulo V, involucra el tratamiento con agua de cal; el medio alcalino produce la liberación de la niacina y, consecuentemente, el aumento de su biodisponibilidad. Esta técnica tradicional aumenta también en forma importante el aporte de calcio a la dieta habitual (Portela 2003). Se han identificado dos formas no disponibles de niacina en los cereales: niacínogeno, un polipéptido de PM 12000-13000, y niacitina, probablemente formada por varias fracciones de glicoproteínas. El uso de leudantes químicos en productos de panadería aumenta la disponibilidad de la niacina, debido a la alcalinización producida por estos aditivos (Koetz y Neukom 1977).

La vitamina B<sub>6</sub> se presenta en tres formas: piridoxina, piridoxal y piridoxamina, en proporciones variables según el origen del alimento. Las dos primeras predominan en vegetales y las dos últimas en productos de origen animal. En frutas, vegetales y cereales del 5% al 70% de la vitamina se encuentra conjugada con CHO, como piridoxina-β-glucósido (Gregory e Ink 1987). Este compuesto se hidroliza en forma incompleta, lo cual podría explicar su menor biodisponibilidad, aunque no hay evidencias concretas aún al respecto. Se ha observado que la vitamina B<sub>6</sub> está menos disponible en pan integral que en pan blanco, lo que se debería a su interacción con la FD (Borenstein y otros 1988). Se han realizado estudios en animales con diferentes fuentes de FD, sin encontrar efectos adversos. Sin embargo, la vitamina naturalmente presente en salvado de trigo, arroz y maíz no está biológicamente disponible para los humanos (Gregory 1997).

En cuanto a la vitamina E, se produce una reducción de su contenido en distintas etapas: es importante la pérdida mecánica ocasionada por la molienda de los cereales, al separar el germen. Asimismo, durante el amasado y horneado del pan se registran pérdidas adicionales y la cocción por extrusión también destruye una gran proporción de esta vitamina en la harina blanca (Wennermark y Jagerstad 1992).

El ácido fítico presente en los cereales es un inhibidor del aprovechamiento de minerales como hierro y zinc, debido a la formación de quelatos, que impiden su absorción a través de la mucosa intestinal. En los productos elaborados a base de cereales, el efecto inhibitorio se observa tanto sobre el hierro no hemínico intrínseco como sobre el hierro de fortificación, cuando se utiliza sulfato ferroso (Cook y otros 1997, Gillooly y otros 1984, Hallberg y otros 1987). Aun los derivados parcialmente degradados, tetra y penta fosfatos del ácido fítico (y parcialmente el trifosfato) forman complejos insolubles con hierro a un pH cercano a la neutralidad (Sandberg y otros 1999). Por el contrario, en el caso del zinc, la defosforilación del ácido fítico a derivados mono a tetra fosfatos, resulta suficiente para evitar la interferencia sobre la absorción. El efecto inhibitorio es dosis-dependiente, pero puede superarse por degradación del ácido fítico, por ejemplo, durante la fermentación, así como con el agregado de promotores de la absorción (Hurrell y otros 2002). En panes elaborados con harina de trigo y de amaranto se observó un incremento significativo de la disponibilidad de hierro y zinc con el agregado de ácido cítrico y fitasas (Dyner y otros, 2007). El remojado también reduce el contenido total de fitatos en las harinas de maíz y arroz, ya que están almacenados en formas relativamente solubles en agua y, por lo tanto, se eliminan por difusión (Gibson y otros 1998). Estudios recientes han mostrado que la absorción de hierro y zinc puede incrementarse mediante la reducción del ácido fítico, ya sea a través del uso de variedades de maíz que lo contienen en baja proporción (Mendoza y otros 1998, Adams y otros 2002, Hambidge y otros 2004) o por medio del agregado de fitasas a trigo, maíz, arroz y avena (Hurrell y otros 2003). En este caso, la absorción de hierro aumenta entre tres y doce veces.

Los polifenoles y taninos también son importantes inhibidores de la absorción del hierro no hemínico, ya que forman compuestos insolubles (Hurrell y otros 2003). Ciertos cereales, como el sorgo rojo y el mijo africano, pueden contener altos niveles de estos compuestos. Como se mencionó previamente, la preparación de la tortilla de maíz por nixtamalización involucra el tratamiento con agua de cal, que deriva en un importante aumento del aporte de calcio a la dieta

habitual (Portela 2003); sin embargo, su biodisponibilidad estaría disminuida por el fitato presente. Estudios de Hambidge y otros (2005) mostraron un incremento significativo de la absorción de calcio en tortillas preparadas con una variedad de maíz de bajo contenido en fitatos.

## Acrilamida en productos de panificación

Desde que en el año 2002 un grupo de investigadores de la Universidad de Estocolmo informó sobre la formación de acrilamida en alimentos ricos en CHO sometidos a procesos de horneado, fritura o tostado, se han realizado gran cantidad de investigaciones tendientes tanto a dilucidar su origen como a desarrollar estrategias para minimizar su formación (Claus y otros 2008). Estos hallazgos causaron gran alarma, ya que es considerada potencialmente carcinogénica para los seres humanos. En la dieta occidental, la ingesta de acrilamida se estima entre 0,4 y 0,9  $\mu\text{g}/\text{kg}$  peso corporal/día, proveniente principalmente de productos elaborados con papas, panificados y café, en proporciones variables según los hábitos alimentarios de cada país (Morales y otros 2008). Su principal vía de formación es a través de la reacción de Maillard, a partir de azúcares reductores y el aminoácido asparagina, si bien también existen otros mecanismos a partir de péptidos, proteínas o aminos biógenas.

En los últimos años se han investigado diversas formas de reducir la formación de acrilamida, y en el caso particular de los productos panificados se han ensayado exitosamente modificaciones de las condiciones de tiempo-temperatura durante la fermentación y el horneado o el reemplazo del bicarbonato de amonio o el azúcar invertido, opciones que no siempre están disponibles para distintos productos, ya que existe la posibilidad de que se produzcan cambios sensoriales que puedan afectar su aceptación por parte del consumidor. Por este motivo, ha despertado interés la posible utilización de aditivos de bajo PM tales como ácidos, aminoácidos, cationes y polifenoles. La adición de polifenoles, no utilizados hasta ahora en productos panificados, parece promisoría, ya que reaccionarían con la asparagina impidiendo la formación de acrilamida, lo que evitaría o minimizaría los cambios en los procesos tecnológicos y la calidad sensorial (Claus y otros 2008). Otra alternativa propuesta es el uso de asparaginasa, que convierte a la asparagina libre en ácido aspártico, el cual no forma acrilamida. En este caso no se modifican las propiedades nutricionales del alimento ni sus atributos sensoriales, si bien su costo podría ser un factor limitante en ciertos casos. La diversidad de alimentos existentes en el mercado elaborados con cereales, en general, y de panificados, en particular, hace que sea difícil encontrar una única manera de evitar o, al menos, disminuir la formación de acrilamida durante los procesos tecnológicos. En cada caso los elaboradores deberán estudiar las condiciones óptimas para sus productos, sin perder de vista las expectativas del consumidor con respecto a las características sensoriales.

## Comentario final

Como se ha descrito, el pan y los productos de panadería se encuentran entre los alimentos de mayor consumo en los países iberoamericanos y constituyen una parte muy importante de la dieta habitual. Por ello, resulta relevante su aporte de nutrientes, particularmente los CHO complejos, así como la FD, en los productos integrales. También es de destacar la contribución de vitaminas y minerales, aun en aquellos elaborados con harinas blancas, ya que los micronutrientes perdidos durante el proceso de molienda se restauran a través de su fortificación.

Por otra parte, la oferta de productos de panificación “funcionales”, que contienen ingredientes bioactivos, crece día a día, incorporando nuevas oportunidades de lograr beneficios sobre la salud a través de su consumo (véase capítulo VII). Es indudable que la inclusión habitual de panes y productos de panificación en la dieta, tal como lo indican las recomendaciones nutricionales actuales, representa una importante contribución a una alimentación saludable.

## Referencias

- Adams C, Hambidge M, Raboy V, Dorsch JA, Sian L, Westcott JL, Krebs N. 2002. Zinc absorption from a low-phytic acid maize. *Am J Clin Nutr*, 76: 556-559.
- Aykroyd WR, Doughy J. 1970. *Wheat in Human Nutrition*. FAO, Rome.
- American Association of Cereal Chemists. Dietary Fiber Technical Committee. 2001. The definition of dietary fiber. *Cereal Foods World*, 46: 112.
- American Dietetic Association. 1997. Position of the American Dietetic Association: health implications of dietary fiber. *J Am Diet Assoc*, 97: 1157-1159.
- Antoine C, Lullien-Pellerin V, Abecassis J, Rouau X. 2002. Nutritional interest of the wheat seed aleurone layer. *Sciences des Aliments*, 22: 545-556.
- ARGENFOODS. Base de Datos de Composición de Alimentos. Universidad Nacional de Luján. Disponible en: <http://www.unlu.edu.ar/~argenfood/Tablas/Tabla.htm> Consultado 29/04/2008.
- Bacic A, Stone BA. 1981. Chemistry and organization of aleurone cell wall components from wheat and barley. *Austr J Plant Physiol*, 8: 475-495.
- Barron C, Surget A, Rouau X. 2007. Relative amounts of tissues in mature wheat (*Triticum aestivum* L.) grain and their carbohydrate and phenolic acid composition. *J Cereal Sci*, 45: 88-96.
- Behrens R, Bohm A, Bühler AG. 2004. Method for the electric contact charging of a mixture containing aleurone and shell particles. International Patent WO2004016354.
- Belderok B. 2000. Developments in bread-making processes. 2-The wheat grain. *Plant Foods for Human Nutrition*, 55: 15-20.
- Belitz HD, Grosch W. 1997. Cereales y derivados. En: *Química de los alimentos*. 2da. Ed. Acribia, Zaragoza, pag 785.
- Bender AE. 1978. Vitamins. En: *Food processing and nutrition*. Bender AE, editor. Academic Press, Londres, pag 27-57.

- Borenstein B, Bendich A, Waysek EH. 1988. Vitamin bioavailability in fortified foods. *Food Technol*, 42: 226-228.
- Buri RC, von Reding W, Gavin MH. 2004. Description and characterization of wheat aleurone. *Cereal Foods World*, 49: 274-282.
- Calaveras J. 1996. *Tratado de panificación y bollería*. AMV Ediciones, Madrid, pag 469.
- Chaoui A, Mohamed Faid M, Belahsen R. 2006. Making bread with sourdough improves iron bioavailability from reconstituted fortified wheat flour in mice. *J Trace Elements Med Biol*, 20: 217-220.
- Clarke CI, Schober TJ, Arendt EK. 2002. Effect of single strain and traditional mixed strain starter cultures on rheological properties of wheat dough and on bread quality. *Cereal Chem*, 79: 640-647.
- Clarke CI, Schober TJ, Dockery P, O'Sullivan K, Arendt EK. 2004. Wheat sourdough fermentation: effects of time and acidification on fundamental rheological properties. *Cereal Chem*, 81: 409-417.
- Claus A, Carle R, Schieber A. 2008. **Acrylamide in cereal products: A review**. *J Cereal Sci*, 47: 118-133.
- Collar C, Andreu P, Martínez JC, Armero E. 1999. Optimization of hydrocolloid addition to improve wheat bread dough functionality: a response surface methodology study. *Food Hydrocolloids*, 13: 467-475.
- Cook JD, Reddy MB, Burri J, Juillerat MA, Hurrell RF. 1997. The influence of different cereal grains on iron absorption from infant cereal foods. *Am J Clin Nutr*, 65: 964-969.
- Crowley P, Schober TJ, Clarke CI, Arendt EK. 2002. The effect of storage time on textural and crumb grain characteristics of sourdough wheat bread. *Europ Food Res Technol*, 214: 489-496.
- Dal Bello F, Clarke CI, Ryan LAM, Ulmer H, Schober TJ, K. Ström K, Sjögrend J, van Sinderen D, Schnürer J, Arendt EK. 2007. Improvement of the quality and shelf life of wheat bread by fermentation with the antifungal strain *Lactobacillus plantarum* FST 1.7. *J Cereal Sci*, 45: 309-318.
- Desvignes C, Olive C, Lapierre C, Rouau X, Pollet B, LullienPellerin V. 2006. Effects of calcium chloride treatments on wheat grain peroxidase activity and outer layer mechanical properties. *J Sci Food Agric*, 86: 1596-1603.
- Desvignes C, Chaurand M, Dubois M, Sadoudi A, Abecassis J, Lullien-Pellerin V. 2008. Changes in common wheat grain milling behavior and tissue mechanical properties following ozone treatment. *J Cereal Sci*, 47: 245-251.
- Dexter JE, Wood PJ. 1996. Recent applications of debranning of wheat before milling. *Trends Food Sci Technol*, 7: 35-41.
- Di Cagno R, De Angelis M, Lavermicocca P, De Vincenzi M, Giovannini C, Faccia, M, Gobbetti M. 2002. Proteolysis by sourdough lactic acid bacteria: Effects on wheat flour protein fractions and gliadin peptides involved in human cereal intolerance. *Appl Environm Microbiol*, 68: 623-633.
- Dodic J, Pejcin D, Dodic S, Popov S, Mastilovic J, Popov-Raljic J, Zivanovic S. 2007. Effects of hydrophilic hydrocolloids on dough and bread performance of samples made from frozen doughs. *J Food Sci*, 72: S235-S241.

- Dragsdorf RD, Varriano-Marston E. 1980. Bread staling: X-ray diffraction studies on bread supplemented with  $\alpha$ -amylases from different sources. *Cereal Chem*, 57: 310-314.
- Dyner L, Drago S, Piñeiro A, Sánchez H, González R, Villaamil E, Valencia ME. 2007. Composición y aporte potencial de hierro, calcio y zinc de panes y fideos elaborados con harinas de trigo y amaranto. *Arch Latinoamer Nutr*, 57: 69-77.
- Esposito F, Arlotti G, Bonifati AM, Napolitano A, Vitale D, Fogliano V. 2005. Antioxidant activity and dietary fibre in durum wheat bran by-products. *Food Res Internat*, 38: 1167-1173.
- Englyst HN, Kingsman SM, Cummings JH. 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *Eur J Clin Nutr*, 46 (suppl): 33S-350S.
- Eugster W. 2005. Avantages commerciaux réalisés grâce au process de décortilage "Peeling". *Industrie des Céréales*, 143: 31-32.
- Fleurat-Lessard F, Chaurand M, Marchegay G, Abecassis J. 2007. Effects of processing on the distribution of pirimiphos-methyl residues in milling fractions of durum wheat. *J Stored Prod Res*, 43: 384-395.
- Food Balance Sheets Millennium Issue 1999-2001 Special Charts. Disponible en: [www.fao.org/statistics/chartroom/fbs.asp#](http://www.fao.org/statistics/chartroom/fbs.asp#) Consultado 29/04/2008.
- Gibson RS, Ferguson EL, Lehrfeld J. 1998. Complementary foods for infant feeding in developing countries: their nutrient adequacy and improvement. *Europ J Clin Nutr*, 52: 764-770.
- Gillooly M, Bothwell TH, Charlton RW, Torrance JD, Bezwoda WR, MacPhail AP, Derman DP, Novelli L, Morrall P, Mayet F. 1984. Factors affecting the absorption of iron from cereals. *Brit J Nutr*, 51: 37-46.
- Glenn GM, Johnston RK. 1992. Moisture-dependant changes in mechanical properties of isolated wheat bran. *J Cereal Sci*, 15:223-236.
- Glicksman, M. 1982. *Food Hydrocolloids*. CRC Press, NY.
- Godon B. 1991. Composition biochimique des céréales. En: *Les Industries de Première Transformation des Céréales*. Godon B, Willm C, editores. Paris, pag 77-94.
- Gouveia ST, Lopes GS, Fatibello-Filho O, Nogueira ARA, Nóbrega JA. 2002. Homogenization of breakfast cereals using cryogenic grinding. *J Food Engineer*, 51: 59-63.
- Gray JA, Bemiller JN. 2003. Bread staling: molecular basis and control. *Comprehensive Rev Food Sci Food Safety*, 2: 1-21.
- Gregory III JF, Ink SL. 1987. Identification and quantification of piridoxine- $\beta$ -glucoside as a major form of vitamin B6 in plant-derived foods. *J Agric Food Chem*, 35: 76-82.
- Gregory III JF. 1997. Bioavailability of vitamin B6. *Europ J Clin Nutr*, 51 (Suppl 1): S43-S48.
- Gregory III JF. 2000. Vitaminas. En: *Química de los alimentos*. Fennema OR, editor. Acribia, Zaragoza, pag 633-734.
- Hallberg L, Rossander L, Skanberg AB. 1987. Phytates and the inhibitory effect of bran on iron absorption in man. *Am J Clin Nutr*, 45: 988-996.
- Hambidge M, Huffer JW, Raboy V, Grunwald G, Westcott JL, Sian L, Miller L, Dorsch JA, Krebs N. 2004. Zinc absorption from low-phytate hybrids of maize and their wild-type isohybrids. *Am J Clin Nutr*, 79: 1053-1059.

- Hambidge M, Krebs N, Westcott JL, Sian L, Miller L, Peterson K, Raboy V. 2005. Absorption of calcium from tortilla meals prepared from low-phytate maize. *Am J Clin Nutr*, 82: 84-7.
- Harland BF, Morris ER. 1995. Phytate: a good or a bad food component? *Nutr Res*, 15: 733-754.
- Haros M, Rosell CM, Benedito C. 2002. Improvement of flour quality through carbohydrases treatment during wheat tempering. *J Agric Food Chem*, 50: 4126-4130.
- Heaton KW, Marcus SN, Emmet PM, Bolton CH. 1988. Particle size of wheat, maize, and oat test meals: effects on plasma glucose and insulin responses and on the rate of starch digestion in vitro. *Am J Clin Nutr*, 47: 675-682.
- Hegedüs M, Pedersen B, Eggum BO. 1985. The influence of milling on the nutritive value of flour from cereal grains. 7. Vitamins and tryptophan. *Qualitas Plantarum. Plant Foods for Human Nutrition*, 35: 175-180.
- Hellman NN, Fairchild B, Senti FR. 1954. The bread staling problem. Molecular organization of starch upon aging of concentrated starch gels at various moisture levels. *Cereal Chem*, 31: 495-501.
- Hemery Y, Rouau X, Lullien-Pellerin V, Barron C, Abecassis J. 2007. Dry processes to develop wheat fractions and products with enhanced nutritional quality. *J Cereal Sci*, 46: 327-347.
- Hinton JJC, Shaw B. 1954. The distribution of nicotinic acid in the rice grain. *Brit J Nutr*, 8: 65-71.
- Hoseney RC, Lineback DR, Seib PA. 1978. Role of starch in baked foods. *Baker's Digest*, 52: 11-16, 18, 40.
- Hurrell RF, Reddy MB, Burri J, Cook JD. 2002. Phytate degradation determines the effect of industrial processing and home cooking on iron absorption from cereal-based foods. *Brit J Nutr*, 88: 117-123.
- Hurrell RF, Reddy MB, Juillerat M-A, Cook JD. 2003. Degradation of phytic acid in cereal porridges improves iron absorption by human subjects. *Am J Clin Nutr*, 77: 1213-1219.
- Informe Especial: Industria Panificadora Latinoamericana. Panorama estadístico regional. 2006. Énfasis Alimentación, Año XII N° 5: 6-12.
- Katz JR. 1928. Gelatinization and retrogradation of starch in relation to the problem of bread staling. En: *Comprehensive Survey of Starch Chemistry*. Walton RP, editor. New York, Chemical Catalog Co, pag 100-117.
- Kent NL. 1983. *Technology of cereals*. 3rd Edition. Pergamon Press, Oxford.
- Kim SK, D'Appolonia BL. 1977. Bread staling studies. I. Effect of protein content on staling rate and bread crumb pasting properties. *Cereal Chem*, 54: 207-215.
- Knightly WH. 1977. The staling of bread: A review. *Baker's Digest*, 51: 52-56, 144-150.
- Koetz R, Neukom H. 1977. Nature of bound nicotinic acid in cereals and its release by thermal and chemical treatment. En: *Physical, chemical and biological changes in food caused by thermal processing*. Hoyem T, Kvale O, editores. Applied Sciences Publishers, London, pag 305-310.
- Laca A, Mousia Z, Diaz M, Webb C, Pandiella SS. 2006. Distribution of microbial contamination within cereal grains. *J Food Engineer*, 72: 332-338.
- Landberg R, Kamal-Eldin A, Salmenkallio-Marttila M, Rouau X, Åman P. 2008. Localization of alkylresorcinols in wheat, rye and barley kernels. *J Cereal Sci*, 48: 401-406.

- LATINFOODS. Tabla de Composición de Alimentos de América Latina. Disponible en: [www.rlc.fao.org/es/bases/alimento/default.htm](http://www.rlc.fao.org/es/bases/alimento/default.htm) Consultado 29/04/2008.
- Laux J, Von Reding W, Widmer G, Bühler AG. 2006. Aleurone product and corresponding production method. US Patent 2006/0177529 A1.
- León AE, Durán E, Benedito de Barber C. 1997 a. A new approach to study starch changes in dough baking process and bread storage. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und-Forschung*, 204: 316-320.
- León AE, Durán E, Benedito de Barber C. 1997 b. Firming of starch gels and amylopectin retrogradation as related to dextrin production by  $\alpha$ -amylase. *Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung*, 205: 131-134.
- Lezcano E. 2007. Trigo y sus derivados. Análisis de la cadena alimentaria. Disponible en: [www.alimentosargentinos.gov.ar/0-3/revistas/r\\_37/cadenas/Farinaceos\\_derivados\\_trigo.htm](http://www.alimentosargentinos.gov.ar/0-3/revistas/r_37/cadenas/Farinaceos_derivados_trigo.htm) Consultado 09/04/2008.
- Liljeberg HGM, Lönner CH, Björck IME. 1995. Sourdough fermentation or addition of organic acids or corresponding salts to bread improves nutritional properties of starch in healthy humans. *J Nutr*, 125: 1503–1511.
- Liljeberg HGM, Björck IME. 1996. Delayed gastric emptying rate as a potential mechanism for lowered glycemia after eating sourdough bread: studies in humans and rats using test products with added organic acids or an organic salt. *Am J Clin Nutr*, 64: 883–893.
- Linlaud NE, Puppo MC, Ferrero C. 2007. Absorción de agua en harinas aditivadas con distintos hidrocoloides *Ingeniería Alimentaria*, 70: 82-90.
- Lopez HW, Duclos V, Coudray C, Krespine V, Feillet-Coudray C, Messenger A, Demigné C, Rémésy C. 2003. Making bread with sourdough improves mineral bioavailability from reconstituted whole wheat flour in rats. *Nutrition*, 19: 524-530.
- Mabille F, Gril J, Abecassis J. 2001. Mechanical properties of wheat seed coats. *Cereal Chem*, 78: 231–235.
- Mac Masters MM, Hinton JJC, Bradbury D. 1978. Microscopic Structure and Composition of the Wheat Kernel. En: *Wheat. Chemistry and technology*. Pomeranz Y, editor. AACC Monograph Series Vol III. St Paul, Minnesota.
- Martin ML, Zeleznak KJ, Hosney RC. 1991. A mechanism of bread firming. I. Role of starch swelling. *Cereal Chem*, 68: 498-503.
- Mendoza C, Viteri FE, Lönnerdal B, Young KA, Raboy V, Brown KH. 1998. Effect of genetically modified, low-phytic acid maize on absorption of iron from tortillas. *Am J Clin Nutr*, 68: 1123-1127.
- Moore J, Cheng Z, Su L, Yu L. 2006. Effects of solid-state enzymatic treatments on the antioxidant properties of wheat bran. *J Agric Food Chem*, 54: 9032–9045.
- Morales FJ, Arribas-Lorenzo G, Jiménez-Pérez S, Jiménez Navarro P, Alarcón Serrano E, Borge Larrañaga J, Martín Gutiérrez MJ. 2008. Actuaciones sobre la presencia de acrilamida en alimentos comercializados en España. *Alimentaria*, 393: 102-109.
- Morón C, Alonso L, Crovetto M. 2005. Cambios en la estructura del consumo de alimentos y nutrientes de América Latina 1979-1981 a 1999-2001. Disponible en: [www.fao.org/statistics](http://www.fao.org/statistics) Consultado 29/04/2008.

- MOSTPROJECT. Fortificación de alimentos. Harina de trigo. 2005. Disponible en: [www.mostproject.org/Updates\\_Feb05/Wheat.pdf](http://www.mostproject.org/Updates_Feb05/Wheat.pdf) Consultado 10/04/2008.
- Nystrom L, Paasonen A, Lampi AM, Piironen V. 2007. Total plant sterols, steryl ferulates and steryl glycosides in milling fractions of wheat and rye. *J Cereal Sci*, 45: 106-115.
- O'Dell BL, De Boland AR, Koirtiyohann SR. 1972. Distribution of phytate and nutritionally important elements among the morphological components of cereal grains. *J Agric Food Chem*, 20: 718-723.
- Östman EM, Nilsson M, Liljeberg HGM, Molin G, Björck IME. 2002. On the effect of lactic acid on blood glucose and insulin responses to cereal products: mechanistic studies in healthy subjects and in vitro. *J Cereal Sci*, 36: 339-346.
- Östman EM, Elmståhl HGM, Molin G, Lundquist I, Björck IME. 2005. A diet based on wheat bread baked with lactic acid improves glucose tolerance in hyperinsulinaemic Zucker (fa/fa) rats. *J Cereal Sci*, 42: 300-308.
- Peyron S, Abecassis J, Autran JC, Rouau X. 2002. Influence of UV exposure on phenolic acid content, mechanical properties of bran, and milling behavior of durum wheat (*Triticum durum* desf.). *Cereal Chem*, 79: 726-731.
- Pomeranz Y. 1988. Chemical composition of kernel structures. En: *Wheat: Chemistry and Technology*, Vol. 4. AACC, St. Paul, MN, pag 97-158.
- Portela MLPM. 2003. Vitaminas y minerales en nutrición. 2da. Ed. La Prensa Médica Argentina, Buenos Aires, pag 66.
- Posner ES, Li YZ. 1991. A technique for separation of wheat germ by impacting and subsequent grinding. *J Cereal Sci*, 13: 49-70.
- Qu H, Madl RL, Takemoto DJ, Baybutt RC, Wang W. 2005. Lignans are involved in the antitumor activity of wheat bran in colon cancer SW480 cells. *J Nutr*, 135: 598-602.
- Rhodes DI, Sadek M, Stone BA. 2002. Hydroxycinnamic acids in walls of wheat aleurone cells. *J Cereal Sci*, 36: 67-81.
- Rhodes DI, Stone BA. 2002. Proteins in walls of wheat aleurone cells. *J Cereal Sci*, 36: 83-101.
- Ribotta PD, León AE, Añón MC. 2001. Effect of freezing and frozen storage of doughs on bread quality. *J Agric Food Chem*, 49: 913-918.
- Rizzello CG, De Angelis M, Di Cagno R, Camarca A, Silano M, Losito I, De Vincenzi M, De Bari MD, Palmisano F, Maurano F, Gianfrani C, Gobbetti M. 2007. Highly efficient gluten degradation by Lactobacilli and Fungal proteases during food processing: New Perspectives for Celiac Disease. *Appl Environ Microbiol*, 73: 4499-4507.
- Rosell CM, Rojas JA, Benedito de Barber C. 2001. Influence of hydrocolloids on dough rheology and bread quality. *Food Hydrocolloids*, 15: 75-81.
- Rosell CM. 2003. The nutritional enhancement of wheat flour. En: *Bread Making: Improving Quality*. Cauvain SP, editor. Woodhead Publishing Ltd, Cambridge, pag 253-270.
- Rosenquist H, Hansen A. 1998. The antimicrobial effect of organic acids, sourdough and nisin against *Bacillus subtilis* and *B. licheniformis* isolated from wheat. *J Appl Microbiol*, 85: 621-631.

- Sandberg AS, Brune M, Carlsson NG, Hallberg L, Skoglund E, Rossander-Hulthen L. 1999. Inositol phosphates with different numbers of phosphate groups influence iron absorption in humans. *Am J Clin Nutr*, 70: 240-246.
- Saulnier L, Guillon F, Sado PE, Rouau X. 2007. Plant cell wall polysaccharides in storage organs: xylans (food applications). En: *Comprehensive Glycoscience*, Vol. 2. Kamerling J, Boons GJ, Lee Y, Suzuki A, Taniguchi N, Voragen AGJ, editores. Elsevier Science, Oxford, pag 653-689.
- Schwarz PB, Kunerth WH, Youngs VL. 1988. The distribution of lignin and other fiber components within hard red spring wheat bran. *Cereal Chem*, 65: 59-64.
- Schweiggert U, Carle R, Schieber A. 2007. Conventional and alternative processes for spice production-A review. *Trends Food Sci Technol*, 18: 260-268.
- Singh KK, Goswami TK. 1999. Design of a cryogenic grinding system for spices. *J Food Engineer*, 39: 359-368.
- Stauffer C. 1990. *Functional additives for bakery foods*. Van Nostrand Reinhold, New York, USA.
- The Grains Research Co. 2008. *Nutritional Implications of Flour milling*. Disponible en: [www.gograins.com.au](http://www.gograins.com.au) Consultado 10/04/2008.
- Trowell HC. 1972. Dietary fiber and coronary heart disease. *Rev. Europ Studies Clin Biol*, 17: 345-348.
- Wall JS, Carpenter KJ. 1988. Variation in availability of niacin in grain products. *Food Technol*, 42: 198-204.
- Wennermark B, Jagerstad, M. 1992. Breadmaking and storage of various wheat fractions affect vitamin E. *J Food Sci*, 57: 1205-1209.
- Yang GY, Shamsuddin AM. 1995. IP6-induced growth inhibition and differentiation of HT-29 human colon cancer cells: involvement of intracellular inositol phosphates. *Anticancer Res*, 15: 2479-2487.
- Zhou K, Laux JJ, Yu L. 2004. Comparison of Swiss red wheat grain and fractions for their antioxidant properties. *J Agric Food Chem*, 52: 1118-1123.

## VII. Productos de panificación funcionales

Héctor Araya, Marcela Alviña  
Universidad de Valparaíso y CREAS, Valparaíso, Chile

En el presente texto se muestra que en los últimos años se han propuesto nuevos conceptos sobre los alimentos y sus componentes, que destacan la relación entre sus nutrientes y compuestos bioactivos con las enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) y que han llegado al conocimiento del consumidor a través de los medios de comunicación (Araya y Lutz 2003). En este escenario surge el desarrollo y la comercialización de los alimentos funcionales (AF) como una solución creativa y adaptada a la nueva realidad epidemiológica, expresada en un incremento acentuado de las ECNT.

La producción de alimentos que proporcionan un beneficio para la salud de los consumidores, como son los AF, es un desafío para los gobiernos, enfrentados a la necesidad de establecer regulaciones para su consumo. La industria ha reaccionado con eficiencia, desarrollando una serie de alimentos basados en los resultados de las investigaciones básicas y aplicadas. En el caso de los AF, los efectos beneficiosos que se declaren deben haber sido probados científicamente con estudios de intervención, de experimentación *in vivo* y/o *in vitro*, con la publicación de los efectos descritos en revistas acreditadas en su especialidad. Como se describe en los capítulos III y IX, las declaraciones que relacionan el AF con una mejoría en la calidad de vida del consumidor deben fundamentarse antes que la industria pueda rotular los productos con estos mensajes saludables, y deben ser aprobadas por los organismos de expertos que la legislación determine.

El presente capítulo se refiere a las características funcionales de productos de panificación. El pan puede aumentar su capacidad funcional integrando ingredientes naturales beneficiosos para la salud, tales como almidón resistente (AR), proteínas y péptidos, compuestos bioactivos antioxidantes, grasas de excelente calidad. También puede constituirse en vehículo de nutrientes través del proceso de fortificación. Las opciones descritas son relevantes, debido a que el pan es un alimento que tiene una muy alta frecuencia de consumo a nivel mundial, siendo los países de más alto consumo aparente Alemania, con 106 kg/hab/año y Chile, con 98 kg/habitante/año (véase capítulo VI). En ellos, el pan representa una contribución sustancial a las proteínas y energía disponibles en la dieta, llegando, en algunos casos, a sobrepasar el 50% ([www.fao.org](http://www.fao.org)). Por otra parte, el consumo de pan y derivados trae consigo una elevada glicemia, y al reaccionar la glucosa con proteínas forma compuestos del tipo Maillard, que son altamente oxidantes. Este hecho negativo justifica aún más la adición de ingredientes bioactivos que disminuyan la glicemia y aumenten el poder reductor del alimento.

## Panes con baja respuesta glicémica

El pan convencional se elabora en base a harina de trigo, debido a su alto contenido de gluten que, por sus características de flexibilidad, extensibilidad y elasticidad, es capaz de retener el gas producido durante la fermentación, proceso indispensable para obtener pan. Las harinas de cereales corresponden al endospermo del grano, el cual contiene cerca del 90% de almidón (Potter y Hotchkiss 1995). Estas moléculas son de muy alto peso molecular (PM), formadas por dos polímeros de diferente estructura: una fracción lineal y otra ramificada (Liu 2005). La cadena lineal, de amilosa, está formada por monómeros de glucosa unidas por enlaces glucosídicos  $\alpha$ -1,4. La amilopectina es un polímero altamente ramificado que se une a la cadena lineal a través de enlaces glucosídicos  $\alpha$ -1,6. La relación cuantitativa de estos polímeros y su organización estructural dentro del gránulo de almidón determinan sus propiedades fisicoquímicas y saludables.

Los procesos culinarios y tecnológicos que se aplican durante la elaboración del pan destruyen parcialmente los gránulos en que se presenta el almidón nativo. La pérdida de la matriz se ha señalado como uno de los factores que incide sobre los efectos fisiológicos que produce el consumo de alimentos altos en hidratos de carbono (CHO) (Tosi y otros 2001). Durante el amasado y horneado, un porcentaje considerable de los enlaces  $\alpha$ -1,4, especialmente de las moléculas de amilosa, pierden su estructura microcristalina, dando origen a lo que se conoce como almidón gelatinizado (Bello-Pérez y otros 2006). Cuando este se consume, es degradado por acción de las amilasas digestivas y sus productos son absorbidos rápidamente en el intestino, con la consecuente elevación brusca y rápida de la glicemia. Este fenómeno genera la señal para que haya un aumento inmediato de los niveles de insulina, hormona encargada de la homeostasis de la glucosa (FAO/WHO 1998, Araya 2003). Estas reacciones se consideran dañinas, ya que en la medida que se repiten a lo largo de la vida aumentan el riesgo de desarrollar resistencia a la insulina y, consecuentemente, diabetes tipo 2 (Augustin y otros 2002, Brand-Miller 2003). Por el contrario, los almidones de digestión lenta producen curvas glicémicas aplanadas y sostenidas en el tiempo. En consecuencia, la velocidad de digestión enzimática de los almidones a nivel intestinal determina su característica saludable, evaluada a través de su efecto glicémico e insulinémico (véanse capítulos II y IV).

Por otra parte, los almidones contienen habitualmente una proporción que resiste la hidrólisis enzimática en el intestino, por lo que se le denomina AR (Ciacco y otros 2001). De esta forma, su presencia disminuye la cantidad que es capaz de hidrolizarse, absorberse y afectar la glicemia e insulinemia. La inclusión en alimentos de materias primas que naturalmente aporten una alta cantidad de AR constituye una alternativa para disminuir los efectos glicémicos e insulinémicos no deseados.

El índice glicémico (IG) fue propuesto por Jenkins y otros (1981) como una herramienta para clasificar a los alimentos altos en CHO según su potencialidad para elevar la glicemia. Así, se pueden distinguir alimentos con efecto glicémico bajo, menor a 45%, los de efecto medio, entre 46% y 70% y los de efecto glicémico alto, mayor a 70% (Hare-Bruun y otros 2006, Levitan y otros 2007). Los cereales y sus productos presentan una gama amplia de IG. En el extremo inferior se

puede citar a la avena y a las pastas de formato ancho cuando han sido cocidas *al dente* (Foster-Powell y otros 2002, Wolever y otros 2003). En cambio, el pan blanco, la marraqueta o pan francés, la *baguette*, el pan de molde o miga y otras variedades, causan grandes elevaciones de la glicemia por lo que son ejemplos de alimentos basados en cereales de alto IG. En efecto, el pan blanco es utilizado como el alimento patrón contra el cual se compara la curva glicémica que causan los CHO del alimento en estudio (Wolever y otros 1991). El IG es directa y significativamente afectado por la velocidad de digestión enzimática de los almidones en el intestino, ya que esta fase determina la velocidad con que se absorbe la glucosa y, por ende, su impacto en elevar la glicemia (Araya y otros 2002, Wolever 2003). Englyst y otros (2003) corroboraron esta afirmación específicamente para productos basados en cereales.

Tanto los países desarrollados como los que están en vías de desarrollo presentan elevadas tasas de prevalencia de ECNT, tales como cardiovasculares, hipertensión, cáncer, obesidad y diabetes (OMS 2002, 2006). En este escenario, los alimentos de alto IG, como el pan, representan un riesgo para el desarrollo de obesidad y diabetes y, de manera indirecta, para las enfermedades cardiovasculares (ECV) (Pi-Sunyer 2002, Sheard y otros 2004, Ebbeling y otros 2005, Qi y Hu 2007). Cabe destacar que el pan blanco contiene tan sólo alrededor de 1% de AR y cerca del 70% de sus almidones son de digestión rápida (Englyst y otros 1992). En consecuencia, se requiere de alimentos que contengan factores de protección, como por ejemplo, un IG bajo, que a su vez estén incorporados plenamente a los hábitos alimentarios de las poblaciones, de manera de impactar en los indicadores de salud. En este sentido, se han realizado diversos intentos para disminuir el IG del pan, sustituyendo en diferentes proporciones la harina de trigo por otra materia prima que aporte almidones de digestión lenta o AR, otorgándole la característica funcional, en la medida que esta modificación logre demostrar un beneficio para la salud (Chinachoti 1995).

Hasta el momento, uno de los ingredientes más utilizados es una variedad de maíz obtenido por manejo genético, que presenta entre 40% y 50% de AR, denominado comercialmente Hi Maize®. En la Tabla 1 se detalla la información respecto de la composición química entregada por la empresa **National Starch** para su producto Hi Maize 260®. Este tiene todos los beneficios de la fibra dietética (FD), sin comprometer el sabor ni la textura de los alimentos. Al contrario, permite la manufactura de productos procesados con los beneficios saludables del AR, manteniendo la textura de un CHO de alta calidad. Organolépticamente, el producto Hi Maize® es blanco e indistinguible al homogenizarse en las preparaciones, ya que sus partículas son muy pequeñas, lo que permite incorporarlo fácilmente al momento de elaborar los alimentos. Sus usos varían, y puede ser incorporado en productos tales como pan, queques, tortas, cereales de desayuno, pastas, fideos, refrescos, sopas y postres. También puede utilizarse como sustituto de harina de trigo, en cualquier preparación que la contenga. En cuanto la producción de pan, se suma a los beneficios mencionados la baja absorción de agua por este tipo de fibra, lo que evita cambios en la estructura de la miga y la mantención de su calidad al almacenarse, congelarse o tostarse (<http://www.hi-maize.com>).

**Tabla 1. Composición química de Hi Maize 260®**  
*Fuente: Nutritional data Hi Maize 260®, National Starch & Chemical.*

Energía	1,4 kcal/g app.
Grasas totales	<1,0%
Grasas saturadas	<0,2%
Ácidos grasos trans	<0,01%
Proteínas	<1%
Hidratos de carbono totales	89%
Fibra dietética	54% mínimo
Azúcares simples	No detectados

Resultados preliminares aún no publicados, procedentes de investigadores del proyecto CYTED PANXTODOS de Brasil, Portugal y Chile, indican que es posible sustituir desde un 15% a un 40% de la harina de trigo por la harina Hi Maize®, logrando una masa panaria de características tecnológicas y sensoriales apropiadas. El porcentaje de sustitución depende del tipo de pan que se elabore, el cual está determinado por los hábitos de consumo de los distintos países y del grado de industrialización que se utilice, los que van desde productos amasados manualmente hasta aquellos elaborados en planta piloto. En los panes en los que se logró el máximo de incorporación, es decir un 40:60 de mezcla Hi maize®: trigo, su nivel de almidón resistente subió a 17,6% (Alviña y otros 2008a), determinado por la técnica de Champ (1992).

La harina de piñón (*Araucaria araucana*) es otro ingrediente posible de utilizar en productos de panificación para producir un beneficio en salud. El piñón es una semilla nativa del sur de Chile y Argentina (Nissen 2002) que constituye un alimento autóctono consumido principalmente por la población Mapuche-Pehuenche y que está escasamente difundido entre la población general (Hermann 2005). Los análisis de la composición química de piñones de distintas variedades de araucarias indican que presenta un nivel interesante de FD y una cantidad elevada de AR, la cual depende de la forma culinaria con que se elabore (Wosiacki y Cereda 1985, Cordenunsi y otros 2004, Fichet y otros 1995, Bello-Pérez y otros 2006, Henríquez y otros 2008). La harina que se obtiene desde la semilla cruda presenta un 46,7% de AR (Figuroa y Leyton 2005), según la técnica de Champ (1992). Ensayos preliminares demuestran que es posible obtener un pan de alta aceptabilidad sustituyendo hasta un 30% de la harina de trigo por harina de piñón obtenida de la semilla cruda tostada (Alviña y otros 2008b).

Panes elaborados con una mezcla de harina de trigo y otras harinas integrales o granos parcialmente molidos producen una disminución del IG a valores de 65% hasta 48% (Jenkins y otros 1986, Sedef Nehir 1999). Estos resultados podrían explicarse debido a que un tipo de AR se encuentra en semillas parcialmente molidas y granos enteros (Englyst y otros 1992). Es destaca-

ble que algunos estudios demuestran que la estructura de la matriz entera y de los gránulos de almidón podría explicar las menores respuestas glicémicas e insulinémicas postprandiales de los panes de centeno en comparación a los de trigo (Juntunen y otros 2002). En este mismo sentido, los autores relacionaron la estructura de la matriz entera y de los gránulos de almidón con las menores velocidades de hidrólisis *in vitro* del almidón (Juntunen y otros 2003).

## Panes funcionales para regular el consumo energético

La obesidad tiene dos vertientes etiológicas: una es de naturaleza genética y la otra se sustenta en la relación del ser humano con su medio ambiente. Es razonable suponer que la dotación genética de la población no ha cambiado sustancialmente en los últimos años; por lo tanto, para explicar el aumento de la prevalencia de la obesidad es necesario analizar la incidencia de los factores ambientales (Uauy y otros 2001). Por ejemplo, en las zonas urbanas la ingesta energética tiende a ser mayor que el gasto, debido a la escasa actividad física y a las características de la dieta. Estos factores causales, a su vez, indican las estrategias más adecuadas que se deben emplear para la prevención y el tratamiento de la obesidad. El peso corporal es la resultante del balance entre la ingesta y el gasto de energía, y en la población se mantiene relativamente constante, incluso en sujetos obesos, los que al alcanzar una cierta masa corporal la mantienen. El gasto de energía es relativamente constante, debido a que la actividad física no se modifica. En consecuencia, es la ingesta alimentaria la que se ajusta al gasto energético con el fin de mantener la homeostasis.

Las alteraciones del sistema de regulación de la ingesta energética se expresan en la obesidad, por esta razón los resultados de las investigaciones de las características de la dieta y la regulación del consumo calórico se deben incorporar al desarrollo y evaluación de los AF. Ya en 1984 se llamó la atención acerca de que la concentración de macronutrientes y las características de los alimentos eran esenciales para los estudios de la modulación de la saciedad (Kissilef 1984). Este hecho ha sido comprendido por la industria, que ha desarrollado una variedad de alimentos destinados a disminuir los riesgos de la obesidad.

El ser humano ingiere alimentos en forma episódica para satisfacer sus necesidades nutricionales, de acuerdo con los patrones alimentarios y bajo la influencia de otros factores, como el placer de consumir una comida palatable. En efecto, se ha demostrado una preferencia acentuada por el sabor dulce, que aumenta directamente con la intensidad del dulzor hasta llegar a un punto en que decae (Drewnowski 1997). También se evidencia la predilección por la lubricidad y la suavidad, características relacionadas con altos niveles de grasas contenidas en los productos (Mattes 2005). Incluso, se ha sugerido que los estímulos sensoriales pueden generar respuestas fisiológicas antes del consumo. Por ejemplo, cuando el sujeto observa alimentos que son de su agrado se eleva rápidamente la insulinemia, se produce una caída de la glicemia y una pronta predisposición a comer, hecho que relaciona sus propiedades sensoriales con las respuestas fisiológicas (Birch 1999). El consumo se inicia más prontamente cuando la comida es novedosa y agradable y la repetición del estímulo sensorial proporciona la señal para el cese de la ingesta (Rolls y otros 1988). A este concepto se le ha denominado "saciedad sensorial específica". La

variedad de la oferta aumenta la ingesta de energía, por los estímulos derivados de los distintos atributos sensoriales. El estado físico también influye, pues el vaciamiento gástrico es más rápido en los líquidos; en cambio en una comida semilíquida, compuesta de partículas sólidas inmersas en un líquido, se forman suspensiones viscosas en el estómago e intestino, contribuyendo a una mayor saciedad. El apetito y la saciedad, que determinan en forma importante el consumo energético de los individuos, se estudian tomando en cuenta los tiempos de comida habituales y se expresan como consecuencia de la interacción de factores de diferente origen, a saber: genéticos, culturales y biológicos (Birch 1999).

En el estudio de los efectos de las características de la dieta sobre los eventos fisiológicos de apetito y saciedad se ha acuñado una serie de términos que expresan conceptos operacionales como los que se describen a continuación (Blundell y otros 1995):

**Saciación:**

Proceso involucrado en la decisión de finalizar la ingesta en un tiempo de comida. Para estudiarla se ofrece alimentos en cantidad y composición rigurosamente controladas y determina la cantidad y energía consumida. Alternativamente, puede emplearse escalas analógicas, instrumentos que estiman las sensaciones de apetito y saciedad de los sujetos.

**Saciedad:**

Sirve para estudiar los efectos de la ingesta en un tiempo de comida sobre el consumo en el tiempo de comida posterior, utilizando dos procedimientos:

- a. una precarga, en la cual los individuos consumen una cantidad fija de alimentos y energía y después de un tiempo corto (20 a 60 min) se determina la ingesta de energía o bien la sensación de apetito y saciedad a través de una escala digital
- b. se determina el efecto de la ingesta de alimentos en un tiempo de comida sobre la ingesta energética en la comida siguiente (3 o 4 h).

**Apetito:**

Proceso por el cual se inicia una ingesta, mediado principalmente por estímulos que se inician en respuesta a la exposición de un alimento.

**Hambre:**

Proceso caracterizado por la urgencia por ingerir alimentos, mediada por una sensación apremiante (dolor).

**Regulación energética:**

Armonización de los procesos estimulantes e inhibitorios del consumo energético, con el propósito de mantener un consumo acorde con un buen estado de salud.

La ingesta es controlada por múltiples factores que han sido estudiados en animales y humanos. En este tema surge la pregunta: ¿qué es lo que sensa el organismo para el equilibrio entre el ingreso y el gasto de energía? Desde la perspectiva biológica, la regulación depende de las características nutricionales, sensoriales y físicoquímicas de la dieta, que producen una res-

puesta metabólica de corto plazo, pero también es influida por el tamaño del depósito corporal de grasa, que tiende a mantenerse constante por medio de la secreción de hormonas y otros compuestos reguladores.

Los antecedentes expuestos hacen posible sugerir modificaciones en los ingredientes y la tecnología para disponer de AF destinados a disminuir el consumo energético, los cuales, por antonomasia, van a tener una alta concentración de CHO. El propósito puede ser logrado a través de distintas estrategias:

1. Disminución del IG: como ya se describió, los almidones presentan diversas velocidades de absorción, causando diferentes respuestas glicémicas, las que se han constituido en el indicador IG. Se acepta que IG bajos producen niveles de glucosa más sustentables en el tiempo y, de acuerdo con la teoría glucoestática, presentan una menor saciedad (Ludwig 2000, Alviña y Araya 2004, Hare-Bruun y otros 2006). Los factores antes descritos facilitan la elección de los ingredientes para elaborar panes con bajo IG que contribuyan a regular el consumo calórico.
2. Aumento de la concentración de FD: la fibra está presente en los cereales no refinados y se puede incluir en los productos de panificación de acuerdo con la extracción que se aplique para obtener la harina. Existe acuerdo en que la FD disminuye la respuesta glicémica y, por este mecanismo, aumentaría la saciedad y podría producir una menor ingesta calórica. Por otra parte, la fibra tiene un aporte energético bastante más bajo que los CHO disponibles, lo que reduce el valor calórico. El hecho de disminuir el tiempo de tránsito y absorber agua hace que la absorción de nutrientes sea menor y que se produzca una sensación de mayor saciedad. Esto ha sido ratificado por algunos autores (Holm y Bjorck 1992, Liljeberg y otros 1992) que han demostrado, en sujetos saludables, un menor efecto glicémico derivado del consumo de panes de trigo integrales y una liberación lenta del almidón en los ensayos de digestión *in vitro*, en comparación con el pan blanco. El contenido de AR del pan integral fue de 1,7 g/100 g. Marangoni y Poli (2008) evidenciaron una disminución del 21% del IG cuando sujetos normales consumieron pan elaborado con una mezcla de FD compuesta de 70% de inulina, 20% de goma guar, 5% de glucomanano y 5% de fibra de trigo. En este sentido, es interesante hacer notar que la fracción de AR puede ser considerada como parte de la FD, debido a la incapacidad del organismo para absorberla.
3. Aumento de la concentración proteica: la relación entre la ingesta de proteínas y la saciedad es directa y las evidencias indican que es el macronutriente más saciador, especialmente si se consume en altas concentraciones (Johnson y Vickers 1993). Entre los factores fisiológicos que explican esta eficiencia saciadora se ha evidenciado la capacidad de los aminoácidos circulantes para estimular la liberación de hormonas como glucagón y colecistoquinina y también su oxidación a nivel hepático, que está relacionada directamente con la cantidad de proteína ingerida en un tiempo de comida (Holt y otros 1992, Flatt 1995). Diversos estudios que apoyan esta afirmación (Johnson y Vickers 1993) demostraron que, al evaluar precargas de macronutrientes, la proteína produce más saciedad, seguida por los CHO

y finalmente la grasa. Se demostró una reducción de un 20% de la ingesta después del consumo de una dieta alta en proteínas en comparación con una dieta alta en CHO (Booth y otros 1970, Hill y Blundell 1986). De igual modo, en preescolares se demostró que una comida alta en proteínas causó una menor ingesta energética que una comida alta en CHO complejos y de digestión lenta (Araya y otros 2000).

Las harinas de leguminosas, como lupino y garbanzo, se han utilizado con el propósito de aumentar la concentración de proteínas y conseguir un mayor efecto saciador en productos de panificación (Lee y otros 2006). Del mismo modo, se pueden incorporar concentrados proteicos a un nivel compatible con la elaboración de pan u otros productos de horneado. Otro ingrediente utilizado para aumentar la concentración proteica es la soja, leguminosa que adquiere una importancia especial debido a que contiene componentes que aumentan la saciedad y, al mismo tiempo, aporta compuestos bioactivos como los fitoestrógenos (Ribotta y otros 2005, Pérez y otros 2008) (véase capítulo V).

4. Disminución de los niveles de grasas: se requiere disminuir el contenido lipídico, especialmente de productos que poseen características apetecidas por la población: dulces con cremas, pan alto en grasas (en Chile, "pan amasado"). Los fundamentos para esta recomendación son, entre otros, que las dietas altas en grasas tienen una mayor densidad energética (DE) y están asociadas a una mayor palatabilidad, lo que facilita su consumo y aumenta la ingesta calórica. El sabor y la textura son las propiedades sensoriales que más influyen en el consumo de alimentos. En consecuencia, el alto consumo de grasas y CHO simples se relaciona con una mayor prevalencia de obesidad por inducir un mayor consumo energético, que se explica por el mejoramiento de la palatabilidad y el incremento de la DE (Poppitt y Prentice 1996). Por otra parte, dietas altas en grasas promueven un incremento del neuropéptido Y hipotalámico y otros orexígenos que provocan hiperfagia (Beck y otros 1990). Existe consenso en que una alimentación alta en grasas induce una mayor ingesta de energía, entre otras razones, por incrementar la DE (Stubbs y Whybrow 2004). Los *snacks* que integran el sabor dulce con una alta concentración de grasas son preferidos sobre los *snacks* dulces y altos en CHO (Birch 1999).

Por otra parte, se ha explicado fisiológicamente que al consumir grasas no existe un sensor que induzca una regulación de la ingesta, debido a que la mayor parte de ellas forma depósitos y no se oxida. Los sustratos que se dirigen preferentemente a depósito inducen una mayor ingesta energética. Así, las grasas presentan una menor capacidad de saciedad que las proteínas y CHO, que se oxidan más rápidamente, existiendo sensores del sistema nervioso central que detectan la oxidación de estos nutrientes (Flatt 1995). Otro mecanismo que explica la menor capacidad saciadora de las grasas es la teoría lipostática, que postula que la ingesta energética es modulada por los depósitos de grasas, la que recibió sustento fisiológico al descubrirse la leptina en el sistema nervioso central, ya que su síntesis es proporcional a la masa de tejido graso (Cammisotto y otros 2006).

## Panes de elevada capacidad antioxidante

El estrés oxidativo en los organismos vivos es la resultante de la acción de especies reactivas formadas durante el metabolismo normal, las que se generan en la mitocondria, en reacciones detoxificantes que se producen en el citocromo P-450 hepático o por la acción de múltiples factores ambientales. Entre estas especies destacan los radicales libres, que tienen una estructura química con uno o más electrones desapareados, lo que les confiere una gran reactividad e inestabilidad química, combiándose rápidamente con otros compuestos con el fin de alcanzar una forma más estable (Halliwell 1991). En condiciones fisiológicas, su acción es controlada por un sistema protector que comprende la acción integrada y armónica de enzimas y nutrientes, con un balance ente los compuestos agresores y los protectores. La producción de radicales libres puede ser beneficiosa, por ejemplo, en la acción de los fagocitos, en la síntesis de los prostanoïdes, en la maduración del eritrocito y en la síntesis de la tiroglobulina. Cuando predominan los compuestos agresores o hay un funcionamiento inadecuado del sistema protector, se produce un desequilibrio a favor de las sustancias prooxidantes, desencadenándose alteraciones en la estructura celular y cambios en las reacciones metabólicas.

La nutrición juega un rol clave en la mantención de un balance adecuado: por una parte, existen nutrientes que favorecen las reacciones endógenas de formación de radicales libres y, por otra, interviene en la provisión de un buen suministro de los nutrientes que participan en el mecanismo de la protección celular contra el estrés oxidativo (Takayama y otros 2001, Tong y otros 2002). La recomendación para disminuir los riesgos del estrés oxidativo se fundamenta en privilegiar el consumo de alimentos con un alto contenido de nutrientes antioxidantes y compuestos bioactivos con capacidad reductora (Wu y otros 2004). En el caso de los primeros, esta recomendación debe ser más alta que los valores que se proponen para que la población no experimente riesgos de déficit nutricional y disminuyan los riesgos de ECNT (Diplock y otros 1998). El efecto protector de los alimentos de origen vegetal se atribuye a la presencia de compuestos químicos con actividad antioxidante; sin embargo, cuando se ha relacionado el consumo de nutrientes antioxidantes con la prevalencia de ECNT, no se han encontrado las relaciones descritas y en otros se observa un efecto limitado (Halliwell 1995). Por otra parte, como se describe en el capítulo III, en las intervenciones que suplementan la dieta con nutrientes antioxidantes no se ha demostrado fehacientemente efectos protectores, lo que sugiere que los beneficios del consumo de frutas y verduras podrían deberse a la acción concertada de nutrientes y otros compuestos bioactivos con acción antioxidante (Liu 2003).

El consumo de pan y derivados trae consigo una elevada glicemia, que al reaccionar con proteínas forma compuestos del tipo Maillard, que son altamente oxidantes (Matsuura y otros 2002). Sin embargo, el pan puede aumentar su capacidad antioxidante al incorporar ingredientes naturales con alto poder reductor y también es posible que actúe como vehículo de ellos a través del proceso de la fortificación. Estas opciones se sustentan en que es un alimento de alta ingesta, lo que incrementará en forma apreciable la capacidad antioxidante de la dieta de la población. Los compuestos de elección para ser adicionados al pan son los carotenos: se ha demostrado que un consumo elevado en la población disminuye el riesgo de diabetes tipo 2, probablemente porque disminuye el estrés oxidativo y aumenta el transporte de glucosa desde la sangre al tejido periférico (Johnson

2002). La vitamina E es el antioxidante más importante en la fase lipídica de la célula e integra a diversos compuestos con estructura básica de tocoferoles, siendo el más activo el  $\alpha$ -tocoferol. Esta vitamina liposoluble se une a los lípidos de las membranas celulares y allí ejerce el principal efecto protector, que es el de impedir el transporte de especies reactivas a través de la membrana celular (Kamal-Eldin y Appelqvist 1996). Otro rol importante es la protección de la oxidación de las LDL, lo que disminuye el daño que produce esta lipoproteína cuando se oxida, produciendo alteraciones en el sistema cardiovascular (Traber y Sies 1996). Su capacidad antioxidante se manifiesta a elevadas tensiones de oxígeno y se encuentra en cantidades bajas, por esta razón es aceptable la hipótesis que cuando reacciona con los productos oxidados se torne inactiva y vuelva a su estado reducido —forma activa— por la acción de la vitamina C, que es un compuesto reductor, que a su vez se oxida y torna a su forma activa por la acción del glutatión reducido. Se ha demostrado que existe una asociación entre los niveles plasmáticos bajos de carotenos y el aumento de la incidencia de ECV, ejerce un rol protector sobre ciertos tipos de cáncer y disminuye la oxidación de LDL (Cooper y otros 1999).

El hecho que los alimentos difieran en su poder antioxidante y, por lo tanto, en su capacidad para disminuir los riesgos de las ECNT, es frecuentemente olvidado, y se aconseja aumentar el consumo de frutas y verduras sin especificar aquellas con mayor capacidad antioxidante. Más aún, existen factores como los tratamientos térmicos (Agostini y otros 2004) o que no detectan algún tipo de grupo antioxidante como el grupo tiol (Halvorsen y otros 2002), que incide en la capacidad antioxidante *in vitro* de los alimentos. Es destacable que los polifenoles confieran colores acentuados con diferentes matices que los hacen atractivos al consumidor (Manach y otros 2004) y se evidencia una mayor capacidad antioxidante de aquellos productos que presentan un color en la gama del rojo al negro: maqui (*Aristotelia chilensis*), zarzamora (*Rubus fruticosus*), frambuesa (*Rubus idaeus*), guinda (*Prunus cerasus*), ají o chile rojo (*Capsicum spp*), mora (*Morus alba*) y que le confieren al pan un atractivo especial.

En la Tabla 2 se describe la actividad antioxidante de algunos alimentos que pueden integrarse como ingredientes para mejorar la capacidad antioxidante del pan. En ella destacan los de mayor capacidad antioxidante, como el maqui— que puede ser adicionado en panes dulces—, la aceituna, el orégano, el ajo o la cebolla —susceptibles de adicionar en panes blancos—. Estos son ejemplos que, al proyectarlos a la dieta, producirían un mejoramiento de su potencialidad antioxidante en función de las cantidades en que se consumen estos productos. Otra forma de mejorar la dieta es sirviendo como vehículos de nutrientes antioxidantes, que es una forma fácil y que no modifica mayormente la calidad panadera de los cereales ni sus características organolépticas (Quilez y otros 2006).

**Tabla 2. Capacidad antioxidante de alimentos naturales y procesados**  
Fuente: Araya y otros 2006.

Alimento	Capacidad antioxidante (mmoles Fe/100g determinada a los 30 min)
Ciruela deshidratada ( <i>Prunus domestica</i> )	0,485 ± 0,087
Higo deshidratado ( <i>Ficus carica</i> )	0,250 ± 0,015
Mermelada de ciruela	0,466 ± 0,044
Kiwi ( <i>Actinidia</i> )	0,800 ± 0,081
Manzana roja sin cáscara ( <i>Malus domestica</i> )	0,420 ± 0,047
Maqui ( <i>Aristotelia chilensis</i> )	18,504 ± 0,620
Membrillo ( <i>Cydonia oblonga</i> )	0,409 ± 0,011
Mora ( <i>Morus alba</i> )	2,654 ± 0,263
Olivo ( <i>Olea europeacea</i> )	7,469 ± 0,108
Zarzamora ( <i>Rubus fruticosus</i> )	5,501 ± 0,103
Ajo ( <i>Allium sativum</i> )	0,250 ± 0,015
Cebolla ( <i>Allium cepa</i> )	0,462 ± 0,019
Cilantro	1,798 ± 0,121
Orégano ( <i>Lippia spp</i> )	1,285 ± 0,043
Zanahoria cocida ( <i>Daucus carota</i> )	0,031 ± 0,004

Los valores se presentan como promedio ± DE.

## Panes adicionados de ácidos grasos omega 3

Los ácidos grasos (AG) poliinsaturados esenciales para el ser humano son aquellos que tienen dobles enlaces en las posiciones omega-6 y omega-3. Como se indica en el capítulo I, la esencialidad se refiere a que el organismo no es capaz de producirlos, por lo que su adquisición se vuelve indispensable a través de la dieta. El ácido  $\alpha$ -linolénico (18:3n-3) da origen a derivados de cadena larga, entre los cuales son de mayor importancia fisiológica los ácidos eicosapentaenoico (EPA, 20:5n-3) y docosahexaenoico (DHA, 22:6n-3). El EPA se asocia principalmente a la salud cardiovascular (Uauy y Valenzuela 2000) y el DHA es fundamental en la formación y función del tejido nervioso y visual (FAO 1994, Lutz 1998).

Existe evidencia suficiente respecto a los efectos hipotriglicéridémicos, hipocolesterolémicos, antitrombóticos y antiinflamatorios que produce el consumo de EPA. La sumatoria de estos procesos disminuye significativamente los riesgos de desarrollar ECV (Harris 1989). El EPA, a través de diversos mecanismos, produce una menor conversión de las VLDL en LDL, que son potencialmente aterogénicas. Además, es capaz de reducir la cantidad de VLDL en la circulación y a la vez disminuir la cantidad de triglicéridos por partícula de VLDL, factor altamente aterogénico (Gotto 1989, Roche y Gibney 1996, Harris 1997). El efecto hipocolesterolémico del EPA se debe, por una parte, a la mejoría del transporte reverso del colesterol (Spady y otros 1999), que consiste en su

retorno desde la circulación hasta el hígado: el aumento de la velocidad del transporte reverso implica una disminución del colesterol circulante. Por otra parte, el EPA estimula la salida de colesterol hacia la bilis (Smit y otros 1994). Los efectos antitrombóticos y antiinflamatorios se deben a la producción de eicosanoides, metabolitos con potente actividad biológica (Calder 2001) como antiagregantes de las plaquetas, vasodilatadores y, por consiguiente, hipotensores, que poseen una acción antiinflamatoria. Todos estos procesos son protectores de la salud cardiovascular (Leaf 1990, Simopoulos 2002, Bistrian 2003).

El DHA participa de manera determinante en el desarrollo del sistema nervioso central, particularmente del cerebro. Durante su formación aumentan significativamente los requerimientos de DHA (Clandinin y otros 1980). De esta manera es fácil entender el vínculo entre la presencia de DHA en cantidades adecuadas y el buen funcionamiento a nivel bioquímico de los neurotransmisores. Existe una gran cantidad de estudios que han demostrado la mejoría de síntomas relacionados con trastornos del comportamiento tras haber suplementado su dieta con DHA a sujetos con depresión mayor (Nemets y otros 2002, Su y otros 2003), trastornos de personalidad limitrofe (Zanarini y Frankenburg 2003) y trastorno bipolar (Stoll y otros 1999). De la misma forma, contribuye a prevenir la aparición de agresividad, hostilidad (Hamazaki y otros 2000, 2002) y mejora el comportamiento social (Gresch y otros 2002). El déficit atencional con hiperactividad también se clasifica dentro de los trastornos del comportamiento, ya que afecta el rendimiento escolar, las relaciones familiares y las interacciones sociales (Burgess y otros 2000). Siendo multicausal, algunos estudios han demostrado una mejoría significativa (Stevens y otros 1995), mientras que otros no han obtenido diferencias entre los grupos controles y los suplementados con DHA (Hirayama y otros 2004). Por otra parte, se ha determinado *in vitro* que el DHA afecta el crecimiento y desarrollo del hipocampo, por lo que su déficit se vincula al deterioro de funciones cognitivas tales como el aprendizaje y la memoria (Calderón y Kim 2004). El DHA también es esencial para el tejido visual. En la retina, forma parte de las células especializadas en la visión, conos y bastoncitos (Politi y otros 2001), por lo que su deficiencia se relaciona con la disminución de la agudeza visual (Uauy y otros 1999).

En concordancia con las importantes funciones que desempeñan los AG omega 3 de cadena larga (EPA y DHA), es que los expertos recomiendan aumentar el consumo de alimentos fuentes (Koletzko y otros 2008). Una de las razones que sustenta esta recomendación, es que siendo las familias omega 6 y omega 3 competidoras en las vías metabólicas que sintetizan sus productos terminales, se requiere de un equilibrio entre ellos. A la vez, los derivados de estos AG cumplen en el organismo funciones opuestas, lo que reafirma la necesidad de ingerir cantidades balanceadas de AG de ambas familias. La proporción omega 6:omega 3 que se considera como la de mayor beneficio en salud, es alrededor de 5:1 (Hadders-Algra 2008). Esta es difícil de lograr, ya que existen variadas fuentes dietéticas de AG omega 6 que están plenamente arraigadas a nuestros hábitos alimentarios, como por ejemplo los aceites vegetales. Sin embargo, pocos productos aportan cantidades significativas de AG omega 3 de cadena larga, como el pescado y sus aceites, con el agravante que la mayoría de las poblaciones los consumen en baja cantidad y frecuencia (Simopoulos 2001). Debido a este desbalance, se ha estimado que la dieta de Estados Unidos

presenta una relación omega 6/omega 3 de 16,74, la del Reino Unido y del norte de Europa es 15,00, mientras que la dieta de Japón tiene una relación de 4,00 (Simopoulos 2002). En este país es característico un alto consumo de pescado, que corresponde a una de las mejores fuentes de AG omega 3, especialmente de DHA.

En consecuencia, para cumplir la recomendación de elevar el consumo de AG omega 3 son importantes todas las formas de incluirlos, aun cuando éstas contribuyan en pequeña cantidad, para que a través de la sumatoria de todas se alcance el objetivo. En este sentido, vale considerar otras fuentes alimentarias de AG omega-3, en la forma de ácido  $\alpha$ -linolénico, como se encuentra en vegetales como la soja, canola, nuez, linaza o lino. La Tabla 3 muestra un cuadro comparativo del aporte de este AG de algunos alimentos vegetales.

**Tabla 3. Contenido de ácido  $\alpha$ -linolénico en algunas semillas y leguminosas**

*Fuente: Kris-Etherton y otros 2000, Nettleton 1991, Parcerisa y otros 1997, Simopoulos 1986.*

	Acido $\alpha$ -linolénico (g/100 g)
Almendras	0,4
Nuez de haya	1,7
Nuez de mantequilla	8,7
Nuez de nogal	6,8
Chía	3,9
Linaza o lino	22,8
Frijol	0,6
Garbanzo	0,1
Lenteja	0,1
Soja	1,6
Maní	0,003

Las posibilidades de fortificar productos de panificación con AG omega 3 son limitadas y presentan diversas dificultades. Una alternativa es utilizar mezclas de EPA y DHA o exclusivamente DHA, lo que representa una ventaja en el sentido que son justamente estos compuestos bioactivos los que ejercen las acciones fisiológicas saludables. La literatura científica señala que la capacidad del organismo humano para producir EPA y DHA a partir de su precursor esencial de origen vegetal es muy limitada, ya que se estima que sólo cerca de un 6% del ácido  $\alpha$ -linolénico ingerido a través de los alimentos logra ser convertido en EPA y DHA (Bruinsma y Taren 2000). En consecuencia, la mejor forma de obtener el beneficio producido por los AG omega 3 es a través de la ingestión de alimentos que aportan EPA y especialmente DHA, más que productos con elevado contenido de  $\alpha$ -linolénico.

Sin embargo, la incorporación de AG altamente insaturados en la elaboración de alimentos, como el EPA y el DHA, no está exenta de dificultades. Debido a su alto grado de insaturación son compuestos muy reactivos al oxígeno, por lo que se oxidan fácilmente, perdiendo sus propiedades

saludables al mismo tiempo que modifican negativamente sus características organolépticas. Esta situación representa un desafío para la industria, que debe buscar alternativas para resguardar la conservación de las materias grasas. Una forma de sobrepasar esta dificultad es a través de microcápsulas de gelatina blanda que contienen aceite de pescado. La desventaja del método es poseer *after-taste*, es decir, un sabor residual que permanece después de consumido el producto (Davidov-Pardo y otros 2008). Sin embargo, utilizando aislado proteico de soja y metil celulosa como material para elaborar microcápsulas con aceite de pescado se obtuvieron panes sin ningún sabor extraño (Davidov-Pardo y otros 2008).

Otra alternativa, especialmente apropiada para suplementar alimentos sólidos, es la microencapsulación del aceite de pescado. De esta manera pueden obtenerse productos en polvo, internacionalmente conocidos como DMFO (*dried microencapsulated fish oil*), que consisten en microgotas del aceite recubiertas por una matriz de CHO y/o proteínas, que lo protege contra agentes externos como la luz, el oxígeno y la temperatura ([www.inti.gov.ar/sabercomo/sc38/inti7.php](http://www.inti.gov.ar/sabercomo/sc38/inti7.php)). La estabilidad de los DMFO varía entre los 8 y los 24 meses, según la tecnología empleada. Algunos alimentos que ya se han enriquecido con DMFO son: pan, cereales, pastas, polvos dietéticos, galletitas, tortas, jugos en polvo, entre otros. Se ha estudiado, por ejemplo, que la incorporación de DMFO al pan permite obtener un producto con 90 mg de AG omega-3 cada 100 g de pan, con una pérdida del 10% durante un proceso de cocción convencional (<http://www.inti.gov.ar>). La microencapsulación asegura el estado reducido de las grasas altamente insaturadas, pero a un costo elevado. Si bien existen productos de panificación disponibles en el mercado, como pan adicionado de EPA y DHA microencapsulado, aún no están disponibles los estudios científicos con metodologías rigurosas tendientes a comprobar los efectos beneficiosos publicitados.

Fortificar alimentos agregándoles directamente aceite de pescado en forma líquida, si bien es de menor costo comparativo, representa otras dificultades. Por una parte, deben adicionarse los antioxidantes necesarios para evitar, dentro de un tiempo prudente, la oxidación de los AG incorporados y, por otra, deben utilizarse aceites desodorizados para eliminar sabor y olor propio del pescado. Aun así, es difícil controlar las características organolépticas de los alimentos elaborados, especialmente en lo que se refiere a olor y sabor (Kolanowski y otros 1999). La alternativa de incorporar aceite de pescado como tal es más factible para líquidos, como leche y jugos, en cantidades que deben ser determinadas por un equilibrio entre la dosis de AG omega-3 más eficiente en términos de su bioactividad y la alteración de las propiedades organolépticas. Sin embargo, la incorporación del aceite de pescado a productos sólidos, como los de panificación, en general requiere su transformación en un producto sólido. Por ello, la microencapsulación resulta un método comparativamente más viable; aun cuando encarece los alimentos, lo que va en contra del espíritu con que se comercializa el pan, un producto de bajo costo consumido masivamente por poblaciones de todas las características, incluyendo, especialmente, las de menor poder adquisitivo. Bajo esta perspectiva, resulta aconsejable implementar mejoras nutricionales que impliquen costos menores.

Los frutos secos, en particular las nueces y la semilla de linaza o lino, pueden ser utilizadas con el propósito de incrementar el contenido de ácido  $\alpha$ -linolénico en productos de panificación.

Sin embargo, la cantidad factible de adicionar es relativamente baja, si se le compara con la cantidad necesaria para producir un efecto fisiológico. De acuerdo con algunos trabajos publicados, se requieren cerca de 500 mg de EPA y DHA como dosis mínima necesaria al día para reducir el riesgo de ECV (Gebauer y otros 2006). En cambio, para mujeres embarazadas y lactando, se recomienda un mínimo de 200 mg/día de DHA para obtener un desarrollo del sistema nervioso central y visual óptimo en el feto y neonato (Koletzko y otros 2008).

El pan, como ya se ha descrito, es un alimento de muy alta DE, por lo cual la incorporación de materias grasas, cualquiera sea la alternativa empleada, si bien promete obtener beneficios al introducir AG omega 3, al mismo tiempo eleva aún más la DE. Por esta razón, debe ponerse cuidado en intentar sustituir las materias grasas habitualmente utilizadas en la fabricación de productos de panificación, como margarinas de horneado, mantequillas y *shortenings*, que sólo aportan grasas saturadas, por la adición de aceite de pescado (líquido o encapsulado), semillas oleaginosas o frutos secos, con los cuales se lleve a cabo la fortificación con AG omega-3.

## Referencias

- Agostini LR, Moron Jimenez MJ, Ramon AN, Ayala Gomez A. 2004. Determination of the antioxidant capacity of flavonoids in fruits and fresh and thermally treated vegetables. Arch Latinoamer Nutr, 54: 89-92.
- Alviña M, Araya H. 2004. Rapid carbohydrate digestion rate produced lesser short-term satiety in obese preschool children. Eur J Clin Nutr, 58: 637-642.
- Alviña M, Araya H, Lutz M. 2008 a. Feasibility study for the incorporation of different levels of resistant starches to obtain low glycemic response bread. 13<sup>th</sup> ICC Cereal and Bread Congress. Cerworld 21. Madrid, España. Book of abstracts, pag 263.
- Alviña M, Araya H, Lutz M, Braquenier N, Rojas C. 2008 b. Estudio de aceptabilidad de un pan elaborado con harina de piñón como fuente de almidón resistente, que produzca alta saciedad y baja respuesta glicémica. XVIII Congreso de la Soc Chilena de Nutrición, Puerto Varas, Chile. 26-29 noviembre. Rev Chil Nutr, 35 (Supl 1): 316.
- Araya H, Hills J, Alviña M, Vera G. 2000. Short term satiety in preschool children: A comparison between high protein meal and a high complex carbohydrate meal. Int J Food Sci, 51: 119-124.
- Araya H, Contreras P, Alviña M, Vera G, Pak N. 2002. Comparison between an in vitro method to determine carbohydrate digestion rate and the glycemic response in young men. Eur J Clin Nutr, 56: 735-739.
- Araya H. 2003. Valor nutricional de los hidratos de carbono complejos disponibles. En: Avances sobre el uso y las propiedades de los carbohidratos de alimentos regionales. Proyecto CYTED XI 18. Wenzel E, Lajolo F, editores. Editorial Universidad de Sao Paulo, Sao Paulo, pag 27-40.
- Araya H, Lutz M. 2003. Alimentos funcionales y saludables. Rev Chil Nutr, 30: 8-14.

- Araya H, Clavijo C, Herrera C. 2006. Capacidad antioxidante de frutas y verduras cultivadas en Chile. *Arch Latinoamer Nutr*, 56: 361-365.
- Augustin LS, Franceschi S, Jenkins DJ, Kendall CW, La Vecchia C. 2002. Glycemic index in chronic disease: a review. *Eur J Clin Nutr*, 56: 1049-1071.
- Beck B, Stricher-Kongrad, Burlet A, Nicolas JP, Burlet C. 1990. Influence of diet composition on food intake and hypothalamic neuropeptide Y (NPY) in the rat. *Neuropeptides*, 17: 197-203.
- Bello-Pérez L, García-Suárez F, Méndez-Montealvo G, Oliveira do Nascimento J, Lajolo F, Cordenunsi B. 2006. Isolation and characterization of starch from seeds of *Araucaria brasiliensis*: a novel starch for application in food industry. *Strach/stärke*, 58: 283-291.
- Bello-Pérez L, Méndez MG, Agama E. 2006. En: *Carbohidratos en alimentos regionales Iberoamericanos*. Proyecto CYTED XI 18. Lajolo F, Wenzel E, editores. Editorial Universidad de Sao Paulo, Sao Paulo, pag 15-46.
- Birch LL. 1999 Development of food preferences. *Annu Rev Nutr*, 19: 41-62.
- Bistrain BR. 2003. Clinical aspects of essential fatty acid metabolism. *J Parent Enter Nutr*, 27: 168-175.
- Blundell JE. 1992. Serotonin and the biology of feeding. *Am J Clin Nutr*, 55: 1555-1595.
- Blundell JE, Green S, Burley V. 1995. Carbohydrates and human appetite. *Am J Clin Nutr*, 59 (suppl): 728-734.
- Booth DA, Chase A, Campell AT. 1970. Relative effectiveness of protein in the late stages of appetite suppression in man. *Physiol Behav*, 5: 1399-1302.
- Brand-Miller JC. 2003. Glycemic load and chronic disease. *Nutr Rev*, 61: S49-S55.
- Braquenier N, Rojas C. 2007. Elaboración de un pan funcional y evaluación de su aceptabilidad en adultos de la V Región. Tesis para optar al título de Nutricionista. Universidad de Valparaíso, Chile.
- Bruinsma KA, Taren DL. 2000. Dieting, essential fatty acid intake, and depression. *Nutr Rev*, 58: 98-108.
- Burgess JR, Stevens L, Zhang W, Peck L. 2000. Long-chain polyunsaturated fatty acids in children with attention-deficit hyperactivity disorder. *Am J Clin Nutr*, 71: S327-S330.
- Calder P. 2001. Polyunsaturated fatty acids, inflammation, and immunity. *Lipids*, 36: 1007-1024.
- Calderon F, Kim HY. 2004. Docosahexaenoic acid promotes neurite growth in hippocampal neurons. *J Neurochem*, 90: 979-988.
- Cammisotto PG, Bukowiecki LJ, Deshaies Y, Bendayan M. 2006. Leptin biosynthetic pathway in white adipocytes. *Biochem Cell Biol*, 84: 207-214.
- Champ M. 1992. Determination of resistant starch in foods and products: interlaboratory study. *Eur J Clin Nutr*, 46(Suppl 2): S51-S62.
- Chinachoti P. 1995. Carbohydrates: functionality in foods. *Am J Clin Nutr*, 65: 922-929.
- Ciacco C, Queiroz D, Vieira M. 2001. Amido Resistente. En: *Fibra dietética en Iberoamérica: tecnología y salud*. Obtención, caracterización, efecto fisiológico y aplicación en alimentos. Sao Paulo, Proyecto CYTED XI 6. Lajolo F, Saura-Calixto F, Wittig E, Wenzel E, editores. Editorial Livraria Varela, pag 130-138.

- Clandinin MT, Chappell JE, Leong S, Heim T, Swyer PR, Chance GW. 1980. Intrauterine fatty acid accretion rates in human brain: implications for fatty acid requirements. *Early Hum Dev*, 4: 121-129.
- Cooper DA, Eldridge AL, Peters JC. 1999. Dietary carotenoids and certain cancer, heart diseases, and age related macular degeneration: a review of recent research. *Nutr Rev*, 57: 201-214.
- Cordenunsi B, Wensel E, Genovese M, Coili C, Goncalves de Souza A, Lojolo F. 2004. Chemical composition and glycemic index of Brazilian pine (*Araucaria angustifolia*) seeds. *J Agr Food Chem*, 52: 3412-3416.
- Davidov-Pardo G, Rocía P, Salgado D, León AE, Pedroza-Islas R. 2008. Utilization of different wall materials to microencapsulate fish oil. Evaluation of its behavior in bread products. *Am J Food Technol*, 3: 384-393.
- Diplock AT, Charleux JL, Crozier-Willi, Kok FJ, Rice-Evans C, Robertfroid M, Stahl W, Viña-Ribes J. 1998. Functional food sciences and defense against reactive oxidative species. *Brit J Nutr*, 80 (Suppl.1): S77-S112.
- Drewnowski A. 1997. Taste preferences and food intake. *Ann Rev Nutr*, 17:237-253.
- Ebbeling C, Leidig M, Sinclair K, Seger-Shippe L, Feldman H, Ludwig D. 2005. Effects of an ad libitum low-glycemic load diet on cardiovascular disease risk factors in obese young adults. *Am J Clin Nutr*, 81: 976-982.
- Englyst H, Kingman S, Cummings J. 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *Eur J Clin Nutr*, 46(Suppl 2): S33-S50.
- Englyst K, Vonoy S, Englyst H, Lang V. 2003. Glycaemic index of cereal products explained by their content of rapidly and slowly available glucose. *Br J Nutr*, 89: 329-339.
- FAO. Food Balance Sheets: applications and uses. [www.fao.org/es/ess/es/fbslead.asp](http://www.fao.org/es/ess/es/fbslead.asp). Consultado 04/08/2008.
- FAO/WHO. 1998. Carbohydrates in Human Nutrition: Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation, 14-18 April 1997, Rome. FAO Food and Nutrition Paper No. 66. The role of the glycemic index in food choice.
- Fats and Oils in Human Nutrition. 1994. Report of a Joint Experts Consultation FAO/OMS. FAO Food and Nutrition Paper Nº 57.
- Fichet T, Vega A, Castillo F, Estevez A. 1995. Características físicas y químicas de piñones de *Araucaria araucana* en el último período de crecimiento. *Simiente*, 65 (1-3): 19.
- Figueroa V, Leyton W. 2005. Evaluación del potencial del piñón de *Araucaria araucana* (Mol.) Koch y sus harinas como ingrediente de alimento funcional. Tesis para optar al grado de Licenciado en Ingeniería en Industria Alimentaria. Universidad Tecnológica Metropolitana, Santiago, Chile.
- Flatt JP. 1995. Use and storage of carbohydrate and fat. *Am J Clin Nutr*, 61(suppl): 952S-959S.
- Foster-Powell K, Holt S, Brand-Miller J. 2002. International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *Am J Clin Nutr*, 76: 5-56.
- Gebauer SK, Psota TL, Harris WS, Kris-Etherton PM. 2006. n-3 fatty acid dietary recommendations and food sources to achieve essentiality and cardiovascular benefits. *Am J Clin Nutr*, 83 (6 Suppl): 1526S-1535S.

- Gotto AM. 1989. Triglyceride, the forgotten risk factor. *Circulation*, 97: 1027-1028.
- Gresch CB, Hammond SM, Hampson SE, Eves A, Crowder MJ. 2002. Influence of supplementary vitamins, minerals and essential fatty acids on the antisocial behaviour of young adults prisoners. Randomised, placebo-controlled trial. *Brit J Psych*, 181: 22-28.
- Hadders-Algra M. 2008. Prenatal long-chain polyunsaturated fatty acid status: the importance of a balanced intake of docosahexaenoic acid and arachidonic acid. *J Perinat Med*, 36: 101-109.
- Halliwell B. 1991. Reactive oxygen species in living systems: Source, biochemistry, and role in human diseases. *Am J Med*, 91: 14-22.
- Halliwell B. 1995. Oxidation of low density lipoproteins: questions of initiation, propagation, and the effect of antioxidants. *Am J Clin Nutr*, 61: 670S - 677S.
- Halvorsen BL, Holte K, Myhrstad MC, Barikmo I, Hvattum E, Remberg SF, Wold AB, Haffner K, Baugerod H, Andersen LF, Moskaug O, Jacobs DR Jr, Blomhoff R. 2002. A systematic screening of total antioxidants in dietary plants. *J Nutr*, 132: 461-471.
- Hamazaki T, Itomura M, Sawazaki S, Nagao Y. 2000. Antistress effects of DHA. *Biofactors*, 13: 41-45.
- Hamazaki T, Thienprasert A, Kheovichai K, Samuhaseneetoo S, Nagasawa T, Watanabe S. 2002. The effect of docosahexaenoic acid on aggression in elderly Thai subjects – a placebo-controlled double-blind study. *Nutr Neurosci*, 5: 37-41.
- Hare-Bruun H, Flint A, Heitmann BL. 2006. Glycemic index and glycemic load in relation to changes in body weight, body fat distribution, and body composition in adult Danes. *Am J Clin Nutr*, 84: 871-979.
- Harris WS. 1997. n-3 Fatty acids and serum lipoproteins: human studies. *Am J Clin Nutr*, 65: 164S-165S.
- Harris WS. 1989. Fish oils and plasma lipid and lipoprotein metabolism in humans: a critical review. *J Lipid Res*, 30: 785-807.
- Henríquez C, Escobar B, Figuerola F, Chiffelle I, Speisky H, Estévez A. 2008. Characterization of piñon seed (*Araucaria araucana* (Mol) K.Koch) and the isolated starch from the seed. *Food Chem*, 107: 592-601.
- Hermann T. 2005. Knowledge, values, uses and management of the *Araucaria araucana* forest by indigenous Mapuche Pewenche in southern Chile. *Natural Resources Forum*, 29: 120-134.
- Hill AJ, Blundell JE. 1986. Macronutrients and satiety: The effects of a high protein or high carbohydrates meal on subjective motivation to eat and food preferences. *Nutr Behav*, 3: 133-134.
- Hirayama S, Hamazaki Y, Terasawa K. 2004. Effect of docosahexaenoic acid-containing food administration on symptoms of attention-deficit/hyperactivity disorder – a placebo controlled double-blind study. *Eur J Clin Nutr*, 58: 467-473.
- Holm J, Bjorck I. 1992. Bioavailability of starch in various wheat-based bread products: evaluation of metabolic responses in healthy subjects and rate and extent of in vitro starch digestion. *Am J Clin Nutr*, 55: 420-429.

- Holt S, Brand J, Soveny C, Hansky J. 1992. Relationship of satiety to postprandial glycaemic insulin and cholecystokinin. *Appetite*, 18:129-141.
- Jenkins D, Wolever T, Taylor R, Barrer H, Fielden H, Baldwin A, Newman H, Jenkins A, Goff D. 1981. Glycemic index of food a physiological basis for carbohydrate exchange. *Am J Clin Nutr*, 34: 362-366.
- Jenkins DJ, Wolever TM, Jenkins AL, Giordano C, Giudici S, Thompson LU, Kalmusky J, Josse RG, Wong GS. 1986. Low glycemic response to traditionally processed wheat and rye products: bulgur and pumpernickel bread. *Am J Clin Nutr*, 43: 516-520.
- Johnson J, Vickers Z. 1993. The effects of flavor and macronutrient composition of preloads and liking, hunger and subsequent intake in humans. *Appetite*, 21: 25-39.
- Johnson EJ. 2002. The role of carotenoids in human health. *Nutr Clin Care*, 5: 56-65.
- Juntunen K, Niskanen L, Liukkonen K, Poutanen K, Holts J, Mykkanen H. 2002. Postprandial glucose, insulin, and incretin responses to grain products in healthy subjects. *Am J Clin Nutr*, 75: 254-262.
- Juntunen K, Laaksonen D, Autio K, Niskanen L, Holts J, Savolainen K, Liukkonen K, Poutanen K, Mykkanen H. 2003. Structural differences between rye and wheat breads but not total fiber content may explain the lower postprandial insulin response to rye bread. *Am J Clin Nutr*, 78: 957-964.
- Kamal-Eldin A, Appelqvist L. 1996. The chemistry and antioxidant properties of tocopherols and tocotrienols. *Lipids*, 31: 671-701.
- Kissileff HR. 1984. Satiating efficiency and a strategy for conducting food loading experiments. *Neurosci Biobehav Rev*, 8: 129-135.
- Kolanowski W, Swiderski F, Berger S. 1999. Possibilities of fish oil application for food products enrichment with w-3 PUFA. *Int J Food Sc Nutr*, 50: 39-49.
- Koletzko B, Lien E, Agostoni C, Böhles H, Campoy C, Cetin I, Decsi T, Dudenhausen JW, Dupont C, Forsyth S, Hoesli I, Holzgreve W, Lapillonne A, Putet G, Secher NJ, Symonds M, Szajewska H, Willatts P, Uauy R. 2008. World Association of Perinatal Medicine Dietary Guidelines Working Group. The roles of long-chain polyunsaturated fatty acids in pregnancy, lactation and infancy: review of current knowledge and consensus recommendations. *J Perinat Med*, 36: 5-14.
- Kris-Etherton PM, Shaffer TD, Yu-Poth S, Huth P, Moriarty K, Fishel V, Hargroe RL, Zhao G, Etherton TD. 2000. Polyunsaturated fatty acids in the food chain in the United States. *Am J Clin Nutr*, 71: 179S-88S.
- Leaf A. 1990. Cardiovascular effects of fish oils. Beyond the platelet. *Circulation*, 82: 624-628.
- Lee YP, Mori TA, Sipsas S, Barden A, Puddey IB, Burke V, Hall RS, Hodgson JM. 2006. Lupin enriched bread increases satiety and reduces energy intake acutely. *Am J Clin Nutr*, 84: 975-980.
- Levitan E, Mittleman M, Hakansson N, Wolk A. 2007. Dietary glycemic index, dietary glycemic load, and cardiovascular disease in middle-aged and older Swedish men. *Am J Clin Nutr*, 85: 1521-1526.
- Liljeberg H, Granfeldt Y, Björck I. 1992. Metabolic responses to starch in bread containing intact kernels versus milled flour. *Eur J Clin Nutr*, 46: 561-575.

- Liu Q. 2005. Understanding starches and their role in foods. En: Cui S. Food carbohydrates. Chemistry, physical properties and applications. Taylor & Francis Group, Boca Raton, pag 357-406.
- Ludwig DS. 2000. Dietary glycemic index and obesity. *J Nutr*, 130: 280S-283S.
- Liu HR. 2003. Health benefits of fruits and vegetables are from additive and synergistic combinations of phytochemicals. *Am J Clin Nutr*, 78 (suppl): 517S-520S.
- Lutz M. 1998. La dieta como determinante del desarrollo del sistema nervioso central: rol de los ácidos grasos esenciales. *Arch Latinoamer Nutr*, 48: 29-34.
- Manach C, Scalbert A, Morand C, Rémésy C, Jiménez L. 2004. Polyphenols: food sources and bioavailability. *Am J Clin Nutr*, 79: 727-747.
- Marangoni F, Poli A. 2008. The glycemic index of bread and biscuits is markedly reduced by the addition of proprietary fiber mixture to the ingredients. *Nutr Metab Cardiovasc Dis*. 18: 602-605.
- Mattes RD. 2005. Fat taste and lipid metabolism in humans. *Physiology Behavior*, 86: 691-697.
- Matsuura N, Aradate T, Sasaki C, Kojima H, Ohara M, Hasegawa J, Ubukata M. 2002. Screening system for the Maillard reaction inhibitor from natural extract products. *J Health Sci*, 48: 520-526.
- National Hi Maize. Resistant Starch, the new generation fiber. Disponible en: [http://www.hi-maize.com/data.asp?id=198&lang\\_id=EN&country\\_id=US&category\\_id](http://www.hi-maize.com/data.asp?id=198&lang_id=EN&country_id=US&category_id) Consultado 27/06/2008.
- Nemets B, Stahl Z, Belmaker RH. 2002. Addition of omega-3 fatty acids to maintenance medication treatment for recurrent unipolar depressive disorder. *Am J Psych*, 159: 477-479.
- Nettleton JA. 1991.  $\Omega$ -3 fatty acids: comparison of plant and seafood sources in human nutrition. *J Amer Diet Assoc*, 91: 331-337.
- Nissen J. 2002. La Araucaria: un árbol nuestro que debe ser defendido. *Chile Agrícola* 27 (254): 18-19.
- Organización Mundial de la Salud. 2002. Informe sobre la Salud en el Mundo 2002. Cuantificación de los riesgos para la salud. Ginebra.
- Organización Mundial de la Salud. 2006. Informe sobre la Salud en el Mundo 2006. Colaboremos para la salud. Ginebra.
- Parcerisa J, Richardson DG, Rafecas M, Codony R, Boarella J. 2007. Fatty acid distribution in polar and nonpolar lipid classes of hazelnut oil (*Corylus avellana* L.). *J Agric Food Chem*, 45: 3887-3890.
- Pérez GT, Ribotta PD, Steffolani ME, León AE. 2008. Effect of soybean proteins on gluten depolymerization during mixing and resting. *J Sci Food Agric*, 88: 455-463.
- Pi-Sunyer FX. 2002. Glycemic index and disease. *Am J Clin Nutr*, 76: 290S – 298S.
- Politi L, Rotstein N, Carri N. 2001. Effects of docosahexaenoic acid on retinal development: cellular and molecular aspects. *Lipids*, 36: 927-935.
- Poppitt SD, Prentice AM. 1996. Energy density and its role in the control of food intake: evidence from metabolic and community studies. *Appetite*, 26: 153-174.
- Potter N, Hotchkiss J. 1995. Cereales, leguminosas y semillas oleaginosas. En: Potter N, Hotchkiss J. *Ciencia de los alimentos*. 5a ed. Editorial Acribia, Zaragoza, pag 421-450.

- Qi L, Hu FB. 2007. Dietary glycemic load, whole grains, and systemic inflammation in diabetes: the epidemiological evidence. *Curr Opin Lipidol*, 18: 3–8.
- Quilezj Ruiz JA, Brufau G, Rafecas M. 2006. Bakery products enriched with phytosterols,  $\alpha$ -tocopherol and beta-carotene. Sensory evaluation and chemical comparison with market products. *Food Chem*, 94: 399-405.
- Ribotta PD, Arnulphi SA, León AE, Añón MC. 2005. Effect of soybean addition on the rheological properties and breadmaking quality of wheat flour. *J Sci Food Agric*, 85: 1889-1896.
- Roche HM, Gibney MJ. 1996. Postprandial triacylglycerolaemia: the effect of low-fat dietary treatment with and without fish oil supplementation. *Eur J Clin Nutr*, 50: 617-624.
- Rolls BJ, Hetherington M, Burley VJ. 1988. The specificity of satiety: the influence of foods of different macronutrient content on the development of satiety. *Physiol Behav*, 43: 145-153.
- Sedef Nehir E. 1999. Determination of glycemic index for some breads. *Food Chem*, 67: 67-69.
- Sheard N, Clark N, Brand-Miller J, Franz M, Pi-Sunyer F, Mayer-Davis E. 2004. Dietary carbohydrate (amount and type) in the prevention and management of diabetes: a statement by the American Diabetes Association. *Diabetes Care*, 27: 2266–2271.
- Simopoulos AP. 1986. Purslane: a terrestrial source of  $\omega$ -3 fatty acids. *New Engl J Med*, 315: 833.
- Simopoulos AP. 2001. Evolutionary aspects of diet and essential fatty acids. *World Rev Nutr Diet*, 88: 18-27.
- Simopoulos AP. 2002. Omega-3 fatty acids in inflammation and autoimmune diseases. *J Am Coll Nutr*, 21: 495-505.
- Simopoulos AP. 2002. The importance of the rates omega 6/omega 3 essential fatty acids. *Biomed Pharmacother*, 56: 356-379.
- Smit M, Verkade H, Havinga R, Vonk R, Scherphof G. In't Veld G, Kuipers F. 1994. Dietary fish oil potentiates bile-acid induced cholesterol secretion into bile in rats. *J Lipid Res*, 35: 301-310.
- Spady DK, Kearney DM, Hobbs H, 1999. Polyunsaturated fatty acids up-regulate hepatic scavenger receptor B1 (SR-B1) expression and HDL cholesteryl ester uptake in the hamster. *J Lipid Res*, 40: 1384-1394.
- Stevens LI, Zentall SS, Deck JL, Abate ML, Watkins BA, Lipp SR, Burgess JR. 1995. Essential fatty acids metabolism in boys with attention-deficit hyperactivity disorder. *Am J Clin Nutr*, 62: 761-768.
- Stoll AL, Severus WE, Freeman MP, Reuter S, Zboyan HA, Diamond E, Cress KK, Marangell LB. 1999. Omega-3 fatty acids in bipolar disorder: a preliminary double-blind, placebo-controlled trial. *Arch Gen Psych*, 56: 407-412.
- Stubbs RJ, Whybrow S. 2004. Energy density, diet composition and palatability: influences on overall food energy intakes in humans. *Physiol Behav*, 81: 755-764.
- Su KP, Huang SY, Chiu CC, Shen WW. 2003. Omega-3 fatty acids in major depressive disorder. A preliminary double-blind, placebo-controlled trial. *Eur Neuropsychopharmacol*, 13: 267-271.
- Takayama T, Egashira T, Yamanaka Y. 2001. Singlet oxygen generation from phosphatidylcholine hydroperoxide in the presence of copper. *Life Sci*, 68: 1807-1815.
- Tong Y, Tomlison B, Benzoe I. 2002. Total antioxidant and ascorbic content of fresh fruits and vegetables: implications for dietary planning and food preservation. *Brit J Nutr*, 87: 55-59.

- Tosi E, Re E, Torres R, Degreef M, Ciappini C. 2001. Modificación de la concentración de almidón resistente por tratamiento térmico en cereales. En: *Fibra dietética en Iberoamérica: tecnología y salud. Obtención, caracterización, efecto fisiológico y aplicación en alimentos. Proyecto CYTED XI 6.* Lajolo F, Saura-Calixto F, Wittig E, Wenzel E, editores. Editorial Livraria Varela, Sao Paulo, pag 156-162.
- Traber MG, Sies H. 1996. Vitamin E in humans: demand and delivery. *Annu Rev Nutr*, 16: 321-347.
- Uauy R, Albala C, Kain J. 2001. Obesity trends in Latin America: transiting from under to overweight. *J Nutr*, 131: S893-S899.
- Uauy R, Mena P, Valenzuela A. 1999. Essential fatty acids as determinants of lipid requirements in infants, children, and adults. *Eur J Clin Nutr*, 53: S66-S77.
- Uauy R, Valenzuela A. 2000. Marine oil: the health benefits of omega-3 fatty acids. *J Lipid Res*, 36: 2471-2477.
- Wolever TM, Jenkins DJ, Jenkins AL, Josse RG. 1991. The glycemic index: methodology and clinical implications. *Am J Clin Nutr*, 54: 846-854.
- Wolever TM. 2003. Carbohydrate and the regulation of blood glucose and metabolism, *Nutr Rev*, 61: S40-S48.
- Wolever TM, Vorster HH, Bjorck I, Brand-Miller J, Brighenti F, Mann JI. 2003. Determination of the glycaemic index of foods: interlaboratory study. *Eur J Clin Nutr*, 57: 475-482.
- Wosiacki G, Cereda M. 1985. Characterization of pinhao starch. Part I: Extraction and properties of the starch granules. *Starch/Stärke*, 37: 224-227.
- Wu X, Beecher GR, Holden JM, Haytowitz DB, Gebhardt, Prior RL. 2004. Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States. *J Agric Food Chem*, 52: 4026-4037.
- Zanarini MC, Frankenburg FR. 2003. Omega-3 fatty acid treatment of women with borderline personality disorder: a double-blind, placebo-controlled pilot study. *Am J Psych*, 160: 167-169.

## VIII. Productos de panificación dirigidos a grupos especiales de la población

Gabriela Pérez

Universidad Nacional de Córdoba y CONICET, Argentina

Guillermo Docena

Universidad Nacional de La Plata y CONICET, Argentina

Renata Curciarello

Universidad Nacional de La Plata y CONICET, Argentina

### Introducción

El pan es un alimento de primera necesidad para la mayoría de la población mundial. Los productos de panificación como panes, galletas y pastas, entre los de consumo más extendido, se elaboran utilizando harina de trigo, cereal cuya elección reside en las proteínas de reserva que contiene el grano, denominadas gliadinas y gluteninas. Cuando la harina de trigo se mezcla con agua y se amasa, estas proteínas forman una red proteica viscoelástica denominada gluten, que otorga a las masas elaboradas con harina de trigo las características de elasticidad y extensibilidad, dada su capacidad de retener los gases producidos por las levaduras durante la fermentación, formando los alvéolos que durante el horneado del pan producen una miga esponjosa. Además de la harina y el agua, los productos de panificación pueden contener entre sus ingredientes levaduras o leudantes químicos (en el caso del pan y otros productos leudados), otros tipos de harina de cereales, grasas, leche, huevo y diferentes aditivos como oxidantes, hidrocoloides, emulsionantes y enzimas. Si bien el pan, las pastas y otros panificados son inocuos para la mayoría de la población, determinados grupos de individuos presentan trastornos de salud al ingerir este tipo de productos debido a la intolerancia que presentan para alguno de los ingredientes.

### Intolerancia y alergia alimentaria

La intolerancia alimentaria se puede definir como una condición en la que se producen efectos adversos tras ingerir un alimento en concreto o un ingrediente contenido en él. La alergia alimentaria (AA) es un tipo de intolerancia en la cual tiene lugar una reacción inmunológica determinada en el organismo como respuesta a la ingestión de un constituyente del producto. Es importante destacar que la AA es tan sólo una de las numerosas posibles razones para que exista intolerancia alimentaria. Los principales causantes de intolerancia son dos: el gluten, que

está en los productos de panificación elaborados a base de harina de trigo, y la lactosa, que es un ingrediente muy común en muchos productos de panificación como el pan de molde, las galletitas y los bizcochuelos.

Las enfermedades alérgicas son inmunopatologías que se presentan en forma muy heterogénea y variable, que se originan como consecuencia de una falla en el funcionamiento del sistema inmune frente a antígenos inocuos ampliamente distribuidos en el medio ambiente. Una AA es una patología originada por una reacción anómala del sistema inmune que se produce en individuos susceptibles frente a la exposición a un alérgeno alimentario. De alguna manera existe un compromiso de la mucosa gastrointestinal y los síntomas que se observan pueden ser desde leves (cutáneos) hasta muy graves, cuando involucran órganos vitales. Aunque cualquier antígeno presente en la dieta puede ser potencialmente alérgico para determinados individuos, y en este sentido hay más de 150 alimentos reconocidos como potenciales alérgicos, sólo 8 de ellos han sido descritos como los responsables de originar el 70% a 90% de las AA: leche, huevo, pescados, crustáceos, trigo, soja, maní y frutos secos tales como nueces, avellanas, castañas y almendras (FAO 1995, Wilson y otros 2005).

Las prolaminas presentes en los cereales, como las gliadinas en el trigo, las secalinas en el centeno y las hordeínas en la cebada, son parte de las principales proteínas de almacenamiento en el endosperma del grano. Son ricas en azufre y en su dominio N-terminal hay abundancia de prolina y glutaminas repetitivas, mientras que el C-terminal es no repetitivo y posee algunos residuos de cisteína que forman puentes disulfuro intracatenarios. Las glutelinas de baja masa molecular,  $\alpha$  y  $\gamma$  gliadinas, tienen dominios N y C similares, mientras que  $\omega$  gliadinas tienen bajo contenido en azufre y carecen de cisteína. La mayor reactividad IgE se encuentra en las gluteninas de bajo peso molecular (PM), luego en la  $\alpha$  y  $\gamma$  gliadinas. Las gliadinas se han descrito como alérgenos importantes para niños con reacción alérgica inmediata por ingesta de productos derivados de trigo. Además, la  $\omega$  5 gliadina de trigo posee reactividad cruzada con las  $\gamma$ -70 y  $\gamma$ -35 secalinas de centeno y con la  $\gamma$ -3 hordeína de cebada (Breiteneder y Radauer 2004).

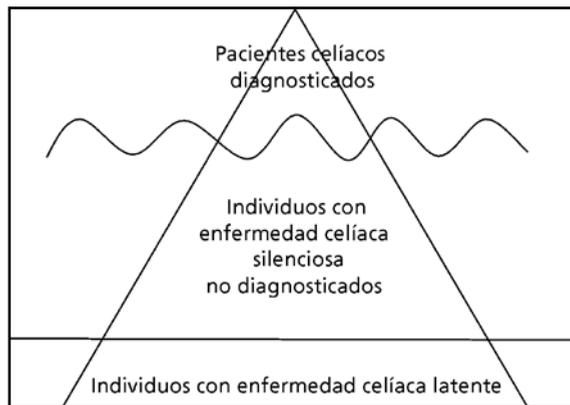
## Enfermedad celíaca

La enfermedad celíaca o celiacía es una de las intolerancias alimentarias más difundidas. Se define como una enfermedad inflamatoria del intestino delgado producida por la ingestión de productos derivados de trigo, centeno, triticale, cebada y posiblemente avena en individuos genéticamente susceptibles. Los factores que desencadenan la enfermedad celíaca son las proteínas de almacenamiento de estos cereales, denominadas en su conjunto como gluten. La patogenia de la celiacía está basada en una respuesta inmune primaria a las proteínas del gluten como antígeno y a la transglutaminasa tisular que ha sido identificada como autoantígeno. Esta intolerancia produce un daño de la mucosa intestinal que provoca una malabsorción de nutrientes (Thompson 2001, Chirido y otros 2002).

La enfermedad celíaca tiene una alta incidencia en la población del sur y oeste de Europa así como también en Australia, América del Norte y América Latina, debido a la migración desde

Europa (Stevens 1980). Estudios epidemiológicos recientes han determinado que la celiacía ha sido subestimada (Ascher y Kristiansson 1997, Fasano y Catassi 2001). El incremento actual de la incidencia de la celiacía se debe a fundamentalmente al desarrollo de los métodos de diagnóstico. La prevalencia promedio de la enfermedad celiaca en el mundo se estima en 1: 266 (Fasano y Catassi 2001).

Para explicar la epidemiología de la enfermedad celiaca se emplea comúnmente el modelo del *iceberg* (Visakorpi 1996), que se muestra en la Figura 1. En ella se aprecia que la punta está formada por los pacientes con enfermedad declarada, que han sido diagnosticados por una biopsia que demuestra una mucosa intestinal aplanada, y por pacientes diagnosticados recientemente que siguen una dieta libre de gluten y que presentan una mucosa normal. La parte bajo la línea del agua está formada por el grupo de los casos silenciosos, los que aún no han sido identificados, pero que tienen una mucosa aplanada y que aún no presentan síntomas (Feighery 1999). En la parte inferior del *iceberg* está un pequeño grupo de pacientes celiacos latentes, que presentan una mucosa normal aun cuando ingieren gluten, pero que potencialmente podrían desarrollar la enfermedad.



*Figura 1. Modelo del iceberg que muestra la prevalencia de la enfermedad celiaca  
Adaptado de Feighery 1999.*

Las proteínas de cereales se agrupan en albúminas (solubles en agua), globulinas (solubles en soluciones salinas), prolaminas (solubles en soluciones alcohólicas) y glutelinas, solubles en soluciones ácidas e insolubles de acuerdo con el fraccionamiento de Osborne (1924). Las prolaminas están formadas por proteínas monoméricas y las glutelinas por proteínas poliméricas unidas por enlaces disulfuro. De acuerdo con su tamaño molecular, se clasifican en:

- 1) Proteínas de alto PM (HMW), que comprende subunidades de glutenina del trigo (HMW-GS), las HMW de secalina del centeno y las D-hordeínas de la cebada. Los PM de estas subunidades están entre 70.000 y 90.000 y poseen un alto contenido de glutamina, glicina y prolina, que representan el 70% del total de aminoácidos.

- 2) Proteínas de PM medio (MMW), que comprende las  $\omega$ -gliadinas del trigo,  $\omega$ -secalinas del centeno, las C-hordeínas de la cebada. Tienen un alto contenido de glutamina, prolina y fenilalanina, que constituyen el 80% del total de aminoácidos.
- 3) Proteínas de bajo PM (LMW), que incluyen las  $\alpha/\beta$  y  $\gamma$ -gliadinas del trigo,  $\gamma$ -secalinas del centeno, las B-hordeínas de la cebada y las aveninas de la avena. También contienen numerosos residuos de glutamina, prolina, fenilalanina y tirosina (Wieser y Khoeler 2008).

Las investigaciones sobre proteínas tóxicas para individuos celíacos se han realizado principalmente a partir del gluten de trigo (Shewry y otros 1992, Kasarda 1994, Wieser 1995). La fracción del gluten que es soluble en soluciones alcohólicas, como las gliadinas del trigo, presentó la mayor toxicidad, mientras que las gluteninas insolubles fueron menos tóxicas. La composición de aminoácidos de los tres grupos de prolaminas es similar y está estrechamente relacionada con la toxicidad en la enfermedad celíaca, ya que contienen secuencias repetitivas prolina-serina-glutamina-glutamina y glutamina-glutamina-glutamina-prolina, de acción tóxica que son comunes en las gluteninas, gliadinas, hordeínas y secalinas.

Los pacientes celíacos después de la ingestión de gluten exhiben una mucosa intestinal aplanada, con vellosidades anormales, una lámina propia con infiltraciones celulares y un incremento de linfocitos intraepiteliales. Las características pueden variar, dependiendo de la severidad de la enfermedad. Los síntomas asociados incluyen diarrea crónica, esteatorrea, vómitos, distensión abdominal, deficiencia en la absorción de nutrientes y energía, todo esto conlleva a pérdida de peso y a deficiencias nutricionales. Los pacientes sin tratamiento tienen un riesgo incrementado de sufrir anemia, edemas, osteoporosis, infertilidad, linfoma de células T, diabetes insulino-dependiente, enfermedad tiroidea y deficiencia en inmunoglobulina A, entre otras (Wieser y Koehler 2008).

El tratamiento de la celiaquía requiere de una dieta libre de gluten (Green y otros 2001), es decir, la eliminación completa del gluten de todos los alimentos y medicamentos. Los pacientes celíacos no pueden consumir gran parte de los productos de panificación disponibles en el mercado como panes, galletas, bizcochos ni otros alimentos elaborados con harina de trigo (Lovis 2003). Por otra parte, muchos alimentos procesados contienen gluten o derivados del trigo que se utilizan como espesantes o rellenos, tales como hamburguesas, embutidos, salsas, sopas, aderezos y quesos procesados. Otros cereales que no deben ser consumidos por individuos celíacos son: centeno, cebada, triticale, avena, Kamut<sup>®</sup>, spelta y einkorn. Muchos pacientes también presentan intolerancia a la lactosa (Murray 1999), debido a que no producen la lactasa encargada de hidrolizar el disacárido, por lo que también deben evitar consumir productos lácteos y gran parte de sus derivados, así como otros productos que incluyan leche entre sus ingredientes.

Los alimentos dietéticos libres de gluten son productos que sustituyen a los elaborados a base de trigo, centeno y cebada, tales como pan, productos de pastelería, galletas, pastas y cerveza. Las materias primas utilizadas para su elaboración son principalmente arroz, maíz, trigo sarraceno y sorgo.

## Productos de panificación libres de gluten

Los productos libres de gluten no deben contener los cereales con prolaminas tóxicas para los pacientes celíacos. Aún está en discusión si la avena puede ser utilizada para elaborarlos: diversos estudios (Janatuinen y otros 1995, Srinivasan y otros 1996, Hardman y otros 1997) indican que la avena no es tóxica ni inmunogénica para los celíacos. Sin embargo, otros autores (Lundin y otros 2003, Arentz-Hansen y otros 2004) demuestran cierta toxicidad de las prolaminas de avena (aveninas). Las prolaminas de trigo (gliadinas), centeno (secalinas) y cebada (hordeínas), a diferencia de las aveninas, tienen un alto contenido de prolina y poseen las secuencias de aminoácidos tóxicos para los celíacos glutamina-glutamina-glutamina-prolina y prolina-serina-glutamina-glutamina. A pesar de que las aveninas no tienen esta secuencia nociva, no se considera a la avena completamente segura.

Las prolaminas y glutelinas durante el amasado con agua forman la red de gluten. La extensibilidad y la elasticidad de la masa elaborada dependerán de la cantidad y calidad de estas proteínas. La harina de trigo es la que contiene más cantidad y mejor calidad de proteínas formadoras de gluten, por lo que es el cereal de elección para la elaboración del pan común. Por este motivo, el desafío para el desarrollo de productos de cereales libres de gluten es su reemplazo. Los panes de este tipo existentes en el mercado son de una calidad muy inferior a los de trigo, ya que tienen poco volumen, presentan miga seca y frágil y se endurecen rápidamente durante el almacenamiento (Arendt y otros 2002, Gujral y otros 2003). Para la obtención de los productos de panificación libres de gluten se han utilizado distintos tipos de harinas, almidones, proteínas, hidrocoloides y enzimas con el objeto de imitar sus propiedades viscoelásticas.

El pan libre de gluten debe tener características sensoriales similares al pan de trigo común para asegurar su aceptabilidad. Los primeros estudios realizados por Rotsch (1954) sobre el rol del almidón en la panificación mostraron que era posible elaborar pan a partir de almidones y sustancias que forman geles. La harina de arroz es una de las más apropiadas para la elaboración de productos para celíacos, debido a su bajo contenido de prolaminas, bajo contenido de sodio, alta digestibilidad del almidón, contenido aminoacídico balanceado y sabor suave. Sin embargo, las proteínas del arroz son incapaces de formar una red que retenga los gases producidos durante la fermentación y el horneado (Gujral y Rosell 2004). Con el objeto de imitar las propiedades del gluten y así obtener productos leudados de calidad aceptable, se han agregado fundamentalmente sustancias poliméricas como las gomas o hidrocoloides. La inclusión de hidrocoloides como goma guar, goma xántica, carragenanos e hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) mejora la calidad del pan de arroz (Kang y otros 1997). Se ha comprobado que la adición de HPMC a formulaciones en base a harina de arroz aumenta la retención de gases, el volumen específico de los panes y disminuye la dureza de la miga (Nishita y otros 1976, Sivaramakrishnan y otros 2004).

Otras formulaciones de panes para celíacos han sido desarrolladas combinando harina de arroz, harina de maíz, almidón de papa o mandioca con el agregado de hidrocoloides (López y otros 2004, Ribotta y otros 2004, Kobylanski y otros 2004). Las mezclas de almidones de distinto

tipo permiten obtener formulaciones con diferente capacidad de absorción y retención de agua, viscosidad, capacidad gelificante y dureza de pasta durante el enfriamiento, que se reflejan en la calidad del producto final.

Con el objeto de proveer a la masa de una red que retenga los gases en los panes sin gluten también se han incorporado harinas o aislados proteicos de soja y guisantes (arvejas), proteínas de origen animal, como ovoalbúmina o proteínas lácteas (caseína y proteínas del lactosuero). Las proteínas lácteas tienen propiedades funcionales similares al gluten: se hinchan, retienen agua y tienen la capacidad de entrecruzarse formando una red (Arendt y Moore 2006). Se ha observado que formulaciones libres de gluten que contienen proteínas lácteas mejoraron el volumen, la forma, la textura y la aceptación sensorial de los panes (Gallagher y otros 2003). La harina de soja es un ingrediente usado frecuentemente, ya que las proteínas favorecen la incorporación de aire y la estabilización de las burbujas en el batido, la fluidez del batido durante la expansión de los gases y la transformación de espuma a estructura de esponja durante el horneado, produciendo un pan de buen volumen, miga esponjosa y homogénea (Ribotta y otros 2004, Sciarini y otros 2008). También se ha empleado la ovoalbúmina para mejorar la calidad de los panes sin gluten, ya que esta proteína tiene la capacidad de formar una estructura proteica continua similar (Moore y otros 2006). En general, la incorporación de proteínas a la formulación mejora la calidad nutricional del producto, debido al incremento en la cantidad y calidad proteica.

Aunque su uso es menos común, existen panes sin gluten elaborados a partir de harina de sorgo y de pseudocereales como quínoa, amaranto y trigo sarraceno. El sorgo es un cereal que tiene un uso limitado en alimentación humana, ya que posee menor digestibilidad de las proteínas y el almidón que otros cereales. Sus proteínas son más parecidas a las de maíz que a las del trigo y se lo considera apto para celíacos. Para la elaboración de panes a partir de harina de sorgo se requiere del uso de hidrocoloides, estabilizantes o almidón pregelatinizado, que aumentan la viscosidad del batido, lo que ayuda a retener los gases durante la fermentación (Satin 1998, Cauvain 1998). Schober y otros (2004) compararon la calidad de panes producidos a partir de harinas de diez cultivares de sorgo y encontraron que algunos de ellos presentan mejor aptitud para panificación.

Los pseudocereales son granos aptos para el consumo de pacientes celíacos, ya que no contienen proteínas del gluten. El trigo sarraceno ha sido usado en la formulación de panes libres de gluten de buena calidad, con menor velocidad de endurecimiento durante el almacenamiento y un mayor contenido en fibra dietética (FD) que otros panes comerciales elaborados a base de almidón (Moore y otros 2004). Tanto el trigo sarraceno como la quínoa y el amaranto tienen un alto valor nutricional debido a su calidad proteica, contenido de FD y micronutrientes (Repo-Carrasco y otros 2007). La creciente demanda de productos libres de gluten de buena calidad y alto valor nutricional ha impulsado recientemente el estudio del comportamiento de estos pseudocereales en panes elaborados a base de harinas de arroz, trigo sarraceno, quínoa y amaranto. Estos panes no sólo incrementaron el contenido de micronutrientes, FD y proteína, sino que también desarrollaron un mayor volumen y una miga más blanda que los de arroz (Álvarez y otros 2007).

Las nuevas alternativas para mejorar la calidad de los productos libres de gluten incluyen el uso de enzimas y la utilización de masa madre o masa fermentada. Entre las enzimas utilizadas destaca el uso de transglutaminasa, que cataliza la formación de uniones iso-peptídicas entre los aminoácidos glutamina y lisina. Esta enzima tiene la habilidad de entrecruzar proteínas de distintas fuentes, como caseína, proteínas de lactosuero, ovoalbúmina, proteínas de soja, entre otras, por lo cual ha sido propuesta para producir entrecruzamiento de proteínas y constituir de esta manera una estructura similar a la red de gluten. La transglutaminasa modifica las propiedades viscoelásticas de los batidos y mejora la calidad de los panes sin gluten a base de harina de arroz y HPMC (Gujral y Rosell 2004) y de formulaciones que incluyen proteínas lácteas y de huevo (Moore y otros 2006) o proteínas de soja (Marco y Rosell 2008). Renzetti y otros (2008) encontraron que la enzima mejoró la estructura de la miga y la textura de los panes elaborados con harina de trigo sarraceno y harina integral de arroz. Sin embargo, recientemente se ha advertido del riesgo que entraña su uso en alimentos dirigidos a la población celíaca, debido a la posibilidad de que incremente la inmunoreactividad a IgA de las prolaminas (Cabrera-Chávez y Calderón de la Barca, 2008).

En panificación tradicional, el uso de masa madre como agente de leudado es un proceso muy antiguo que modifica la calidad de los panes, ya que mejora la textura, el aroma, el sabor y retarda el envejecimiento (Gobbetti 1998, Messens y De Vuyst 2002). Los panes libres de gluten, en general, endurecen a mayor velocidad que los panes con gluten, debido a que están elaborados en base a almidón. Moore y otros (2007) elaboraron masa madre en base a harina integral de arroz, almidón de maíz, trigo sarraceno y harina de soja, cuyo agregado al batido retarda el inicio del envejecimiento. Esta metodología de panificación es aplicable también a los productos leudados libres de gluten y es una alternativa para mejorar su calidad organoléptica.

La galletita o galleta es un producto cuyo consumo se distribuye a lo largo del mundo. Sus principales ingredientes son la harina de trigo, el azúcar y la grasa que, combinados en diferentes proporciones, dan lugar a una amplia gama de texturas y sabores. Existen en el mercado galletitas dulces (*cookies*) sin gluten, aptas para el consumo de personas celíacas, aunque son, en general, productos de baja calidad debido a su textura arenosa y seca. En ellas se reemplaza la harina de trigo por mezclas de almidones o harinas libres de gluten. La ventaja de este producto con respecto al pan es que, al no incluir un leudado, el desarrollo de la red de gluten tiene menor relevancia.

Para la obtención de galletitas se han utilizado diferentes harinas sin gluten y almidones. La combinación de harina integral de arroz, harina de soja y harina de trigo sarraceno con el agregado de pequeñas cantidades de almidón de maíz y papa produjo galletitas de buena calidad, comparables a las de trigo (Schober y otros 2003). Badi y Hosene (1976) estudiaron la producción de galletitas a partir de harina de sorgo, pero su calidad fue muy inferior a las obtenidas a partir de harina de trigo blando. Estos productos tuvieron menor diámetro y textura seca y arenosa, debido al tamaño de las partículas del endosperma y del salvado y a la carencia de lípidos polares de la harina de sorgo (Glover y otros 1986, Badi y Hosene 1976).

Las tortas, bizcochos o bizcochuelos (*cakes*) son productos elaborados a base de harina, huevo, azúcar, leche, grasa y agentes leudantes. La estructura esponjosa de la miga se debe a la emulsión que se forma durante el batido y a la capacidad del huevo para formar espuma (Con-

forti 2006). Turabi y otros (2008) elaboraron tortas a partir de harina de arroz con el agregado de goma xántica y un emulsionante y obtuvieron productos con características de volumen, textura y porosidad aceptables por los consumidores. Olatunji y otros (1992) emplearon una mezcla de harina de sorgo y almidón de mandioca, obteniendo una calidad similar a de las tortas comerciales de trigo, aunque la formulación contenía menores cantidades de huevo, azúcar y grasa. Debido a que no se requiere el desarrollo del gluten para la obtención de galletitas y tortas, el reemplazo de la harina de trigo por ingredientes libres de gluten es menos complicado que en el caso del pan.

La producción de pastas libres de gluten no es sencilla, debido a que el gluten de la masa evita la pérdida de almidón durante la cocción. Sin embargo, se producen pastas a partir de harinas de cereales como arroz, maíz, sorgo y a partir de otras materias primas como pseudocereales (Marconi y Carcea 2001). Para estabilizar la pasta y minimizar la pérdida de materia durante la cocción, se agregan a la formulación aislados proteicos de soja, lupino o guisantes (arveja), leche o huevo, que además aumentan el valor nutricional (Thomann 2007). Se han desarrollado formulaciones de pastas libres de gluten a partir de harina de trigo sarraceno con el agregado de almidón de arroz pregelatinizado, CMC y proteínas de huevo, ingredientes que mejoran la textura de la masa y la calidad final de la pasta (Alamprese y otros 2007).

La normativa para los alimentos libres de gluten fue adoptada por la Comisión del **Codex Alimentarius** de la FAO/OMS en 1976 (Gallagher y otros 2004). En 1981 y 2000 se definió a los productos libres de gluten como aquellos:

- a) Elaborados o que contienen sólo ingredientes que no contienen ningún tipo de prolamina de trigo o de especies del género *Triticum* tales como spelta, kamut, centeno, cebada, avena o variedades de sus cruzamiento con un contenido de gluten que no exceda las 20 ppm, o
- b) Que contienen ingredientes derivados de trigo, centeno, cebada, avena, spelta o variedades de sus cruzamientos con un nivel de gluten que no excede las 200 ppm, o
- c) Que contienen una mezcla de los ingredientes de (a) y (b) que no exceda el nivel de 200 ppm.

En este contexto, la OMS y la FAO definieron al gluten como la fracción proteica de trigo, centeno, cebada, avena o variedades de sus cruzamientos (por ejemplo triticale) y derivados a la que algunas personas son intolerantes y que es insoluble en agua y en NaCl 0,5M. Existen discrepancias en cuanto a la rotulación de los alimentos sin gluten por la cantidad de prolaminas que pueden consumir los celíacos sin que se produzcan daños en la mucosa intestinal. En Estados Unidos y Canadá estos alimentos están basados en ingredientes naturalmente libres de gluten, como el arroz. Sin embargo, en el Reino Unido los alimentos rotulados como libres de gluten pueden contener almidón de trigo (Gallagher y otros 2004).

El tratamiento de la celiacía requiere de la eliminación de la dieta de las proteínas de reserva del trigo, centeno y cebada. La inclusión de la avena y el almidón de trigo está en discusión, ya

que si bien la primera mejora la calidad nutricional de la dieta, su uso no es recomendado por la potencial contaminación con trigo que pueden tener las avenas comerciales. El almidón de trigo no aporta ninguna ventaja nutricional respecto a los almidones provenientes de fuentes libres de gluten naturales y puede contener trazas que afectarían a los individuos celíacos más sensibles.

La dieta de los pacientes celíacos excluye un grupo nutricionalmente muy importante de granos y, por lo tanto, todos los alimentos que los contengan. Como consecuencia, el consumo de vitaminas del complejo B, vitamina D, hierro, zinc, magnesio y FD disminuye sustancialmente (Kupper 2005). En general, los productos de panificación libres de gluten son formulados a base de almidón, por lo que tienen menor contenido de proteína y FD que los panes comunes, lo que podría asociarse con una mayor incidencia de obesidad en pacientes celíacos que siguen una dieta libre de gluten. Jenkins y otros (1987) determinaron que el índice glicémico o IG (véase capítulo II) del pan sin gluten es mayor que el del pan común. Si bien no hay estudios específicos, en general los productos elaborados en base a almidón de maíz, arroz y mandioca tienen mayor IG que los de trigo (Foster-Powell y otros 2002).

El efecto beneficioso de la ingestión de FD sobre la salud está ampliamente aceptado, y se recomienda un consumo de 25 a 35 g diarios (*American Dietetic Association* 2002). Los productos libres de gluten generalmente son elaborados a partir de harinas refinadas y almidón, y no son enriquecidos con FD. Un estudio realizado en 49 pacientes celíacos que seguían una dieta libre de gluten mostró que ingerían menor cantidad de FD que el grupo control de individuos sanos con una dieta normal (Grehn y otros 2001). Lohiniemi y otros (2000) encontraron que el promedio de consumo de FD de individuos celíacos en Suecia es menor al recomendado. El enriquecimiento con FD de los productos libres de gluten es una alternativa para paliar esta deficiencia, aunque el agregado de FD conlleva una disminución del volumen y un envejecimiento más rápido del pan. La incorporación de inulina a productos formulados en base a almidón de trigo incrementó el contenido de FD de 1,4% (control) a 7,5% (con inulina) (Gallagher y otros 2002). Otra alternativa para aumentar la FD es la inclusión de harinas integrales de arroz, trigo sarraceno, quinoa o amaranto. El reemplazo de almidón de maíz por 10% de harina de amaranto incrementó el nivel de FD en un 152%, sin afectar la calidad sensorial (Gambus y otros 2002). El uso de pseudocereales en los productos libres de gluten no solo mejora el contenido de FD, sino que también aumenta el contenido de proteínas y micronutrientes.

La incorporación de fuentes proteicas de alta calidad en productos sin gluten no sólo aumenta la calidad nutricional, sino que en muchos casos mejora la calidad tecnológica del producto. Sin embargo, la inclusión de leche o proteínas de lactosuero puede generar inconvenientes, ya que, como se señaló anteriormente, muchos pacientes celíacos son intolerantes a la lactosa. En este caso, los productos libres de gluten que incluyen leche en su formulación no deberían ser consumidos por este tipo de individuos.

La celiaquía produce una deficiencia en la absorción de nutrientes. El seguimiento de una dieta sin gluten estricta permite recuperar las células intestinales y corregir la malabsorción; sin embargo, la absorción de minerales como el calcio (Mora y otros 1999) y el hierro (Doganci y Bozkurt 2004, Mody y otros 2003) es menor, lo que puede llevar a una disminución de la densidad

ósea y producir anemia por deficiencia de hierro. Los productos libres de gluten fortificados o enriquecidos son raros en el mercado, aunque el desarrollo de estos alimentos mejoraría la calidad de la dieta de estos pacientes (Kapur y otros 2003, Kupper 2005). La fortificación con hierro es respaldada tanto por organismos científicos como gubernamentales de muchos países. Las harinas de trigo son fortificadas con hierro y vitaminas del complejo B por prácticamente todos los países de Latinoamérica y Europa; sin embargo, las harinas de maíz y arroz no se fortifican (excepto en México y Venezuela, donde se adiciona hierro a la harina de maíz), por lo que los productos de panificación sin gluten elaborados en base a harina y almidón de arroz y maíz contienen niveles menores de hierro que los de trigo.

Es importante conocer no sólo el contenido en micronutrientes de un alimento, sino también su biodisponibilidad, ya que la absorción de minerales puede verse afectada por otros compuestos presentes, como por ejemplo el ácido fítico, que disminuye la disponibilidad de hierro y magnesio y se encuentra en mayor concentración en el salvado de cereales y en las harinas integrales. Los panes libres de gluten elaborados en base a harina de arroz, maíz y soja fortificados con hierro mostraron menor biodisponibilidad de este mineral que panes de trigo fortificados con la misma cantidad de soja y hierro (Sciarini y otros 2007). Esto puede deberse a que las harinas de arroz y maíz tienen mayor contenido de ácido fítico, que secuestra minerales como magnesio, calcio y hierro, impidiendo su absorción durante el proceso digestivo. Si bien el agregado de hierro modifica las propiedades sensoriales de los productos fortificados, particularmente el color y el sabor, esta es una estrategia adoptada por muchos países para controlar la deficiencia de hierro. La fortificación con diferentes compuestos como lactato, sulfato o gluconato ferroso, aumentó la biodisponibilidad de hierro de panes libres de gluten que tuvieron características sensoriales satisfactorias (Kiskini y otros 2007).

La fortificación de la harina de trigo con ácido fólico es obligatoria en muchos países como método eficaz para la prevención de anomalías en el tubo neural durante la gestación. Sin embargo, la concentración de folatos en los productos sin gluten es mucho más baja que sus equivalentes con gluten (Thompson 2000). Recientemente se ha demostrado que los pacientes celíacos que llevan una dieta libre de gluten tienen una ingesta diaria de 186 µg en las mujeres y 172 µg en los hombres (Hallert y otros 2002), cifra que es muy inferior que la dosis diaria recomendada: 400 µg para mujeres en edad fértil y 300 µg para adultos (Becker y otros 2004). El aumento del contenido de folato en los productos dirigidos a este grupo poblacional parece ser necesario, y hasta ahora no se ha reglamentado la fortificación con ácido fólico de las harinas sin gluten. Los almidones y las harinas con bajo contenido de proteínas comúnmente usadas en los productos de panificación libres de gluten son pobres en folatos, ya que contienen no más de 6 µg folato/100 g de peso fresco. Probablemente el folato se encuentre unido a las proteínas de los cereales y su eliminación cause la deficiencia. Cuando se compara el contenido de folato de las harinas, tanto de trigo como libres de gluten, con el de los panes respectivos, los panes contienen una mayor proporción, ya que las levaduras son una importante fuente de ellos (Yazynina y otros 2008). Por lo tanto, la fortificación de los productos libres de gluten con ácido fólico o su enriquecimiento con nutrientes ricos en proteínas de granos libres de gluten (tales como quinoa, amaranto, mijo o trigo sarraceno) sería una manera de suplir esta deficiencia en los individuos celíacos.

Las nuevas metodologías de diagnóstico revelan un incremento de la prevalencia de la celiaquía en la población mundial. La dieta libre de gluten es hasta hoy el único tratamiento efectivo contra esta enfermedad. Sin embargo, el reemplazo del gluten en los productos de panificación es aún hoy un desafío. Diferentes materias primas, aditivos y formulaciones han sido ensayados con el fin de obtener alimentos de calidad tecnológica y organoléptica similar a los elaborados con harina de trigo. Paralelamente, las dietas libres de gluten son pobres en lo que se refiere a proteínas, FD, hierro, calcio y ácido fólico, comparadas con una dieta normal. Por esta razón, es necesario desarrollar nuevos productos libres de gluten, enriquecidos con FD y nutrientes, para atender la demanda nutricional de un sector de la población que está en paulatino aumento.

## Referencias

- Alamprese C, Casiraghi E, Pagani AM. 2007. Development of gluten-free fresh egg pasta analogues containing buckwheat. *Eur Food Res Technol*, 25: 205-213.
- Alvarez L, Gallagher E, Downey G, Arendt EK. 2007. Pseudocereals in gluten free breads. 2007. First International Symposium on Gluten-Free Cereal Products and Beverages. University College Cork, Ireland, pag 57.
- American Dietetic Association. 2002. ADA Reports. Health implications of dietary fibre. *J Am Diet Assoc*, 102: 993-1000.
- Arendt EK, O'Brien CM, Schober TJ, Gallagher E, Gormley TR. 2002. Development of gluten-free cereal products. *Farm and Food*, 12: 21-27.
- Arendt EK, Moore MM. 2006. Gluten-free cereal based products. En: *Bakery Products Science and Technology*. Hui YH, editor. Backwell Publishing, Iowa, pag 471-495.
- Arentz-Hansen H, Fleckenstein B, Molberg Ø, Scott H, Koning F, Jung G, Roepstorff P, Lundin, KEA, Sollid LM. 2004. The molecular basis for oat intolerance in patients with celiac disease. *PLoS Med*, 1: 84-92.
- Ascher H, Kristiansson B. 1997. The highest incidence of celiac disease in Europe: the Swedish experience. *J Pediatr Gastroenterol Nutr*, 24: 53-56.
- Badi SM, Hoseney RC. 1976. Use of sorghum and pearl millet flours in cookies. *Cereal Chem*, 53: 733-738.
- Breiteneder H, Radauer C. 2004. A classification of plant food allergens. *J Allergy Clin Immunol*, 113: 821-30.
- Becker W, Lyhne N, Pedersen AN, Aro A, Fogelholm M, Phórsdóttir I, Alexander J, Anderssen SA, Meltzer HM and Pedersen JI. 2004. Nordic Nutrition Recommendations 2004 integrating nutrition and physical activity. *Scand J Nutr*, 48: 178-187.
- Cabrera-Chávez F, Calderón de la Barca AM. 2008. Letter to editor. *J Cereal Sci*, 48: 878.
- Cauvain SP. 1998. Other cereals in breadmaking. En: *Technology of Breadmaking*. Cauvain SP, Young LS, editores. Blackie Academic and Professional, Londres, pag 330-346.
- Chirido FG, Zwierner NW, Rumbo M, Fossati CA. 2002. In vitro presentation of gliadin-derived peptides by different cell lines. *Clin Chim Acta*, 317: 151-158.

- Conforti FD. 2006. Cake manufacture. En: Bakery Products Science and Technology. Hui YH, editor. Backwell Publishing, Iowa, pag 393-410.
- Doganci T, Bozkurt S. 2004. Coeliac disease with various presentations. *Pediatrics Int*, 46: 693–696.
- Fasano A, Catassi C. 2001. Current approaches to diagnosis and treatment of celiac disease: an evolving spectrum. *Gastroenterology*, 120: 636–651.
- Feighery CF. 1999. Coeliac disease. *Brit Med J*, 319: 236–239.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. 1995. Report of the FAO Technical Consultation on Food Allergies. Rome, Italy.
- Foster-Powell K, Holt S, Brand-Miller JC. 2002. International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *Am J Clin Nutr*, 76: 5–56.
- Gallagher E, Polenghi O, Gormley TR. 2002. Novel rice starches in gluten-free bread. Proceedings of the International Association of Cereal Chemists Conference. AACC, pag 24–26.
- Gallagher E, Gormley TR, Arendt EK. 2003. Crust and crumb characteristic of gluten free breads. *J Food Eng*, 56: 153-161.
- Gallagher E, Gormley TR, Arendt EK. 2004. Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products. *Trends Food Sci Technol*, 15: 143-152.
- Gambus H, Gambus F, Sabat R. 2002. The research on quality improvement of gluten-free bread by amaranthus flour addition. *Zywnosc*, 9: 99–112.
- Glover JM, Walker CE, Mattern PJ. 1986. Functionality of sorghum flour components in a high ratio cake. *J Food Sci*, 51: 1280-1283.
- Gobbetti M. 1998. The sourdough microflora: Interactions of lactic acid bacteria and yeast. *Trends Food Sci Technol*, 9: 267-274.
- Grehn S, Fridell K, Lilliecreutz M, Hallert C. 2001. Dietary habits of Swedish adult celiac patients treated by a gluten free diet for 10 years. *Scand J Nutr*, 45: 178-182.
- Green PHR, Stavropoulos SN, Pangagi SG, Goldstein SL, McMahon DJ, Absan H, Neugut AI. 2001. Characteristics of adult celiac disease in the USA: Results of a national survey. *Am J Gastroenterol*, 96: 126-131.
- Gujral HS, Guardiola I, Carbonell JV, Rosell CM. 2003. Effect of cyclodextrinase on dough rheology and bread quality from rice flour. *J Agr Food Chem*, 51: 3814-3818.
- Gujral HS, Rosell CM. 2004. Improvement of the breadmaking quality of rice flour by glucose oxidase. *Food Res Int*, 37: 75–81.
- Hallert C, Grant C, Grehn S, Granno C, Hulthen S, Midhagen G, Strom M, Svensson H, Valdimarsson T. 2002. Evidence of poor vitamin status in coeliac patients on a gluten-free diet for 10 years. *Alimentary Pharmacol Therap*, 16: 1333-1339.
- Hardman CM, Garioch JJ, Leonard JN, Thomas HJW, Walker MM, Lortan JE, Lister A, Fry L. 1997. Absence of toxicity of oats in patients with dermatitis herpetiformis. *N Engl J Med*, 377: 1884-1887.
- Janatuinen EK, Pikkarainen PH, Kempainen TA, Kosma VM, Järvinen RMK, Uusitupa MIJ, Julkunen RJK. 1995. A comparison of diets with and without oats in adults with celiac disease. *N Engl J Med*, 333: 1033-1037.

- Jenkins DJ, Thorne MJ, Wolever TM, Jenkins AL, Rao AV, Thompson LU. 1987. The effect of starch-protein interaction in wheat on the glycemic response and rate of in vitro digestion. *Am J Clin Nutr*, 45: 946-951.
- Kang MY, Choi YH, Choi HC. 1997. Effects of gums, fats and glutes adding on processing and quality of milled rice bread. *Korean J Food Sci Technol*, 29: 700-704.
- Kapur G, Patwari AK, Narayan S, Anand VK. 2003. Iron supplementation in children with coeliac disease. *Indian J Pediat*, 70: 955-958.
- Kasarda DD. 1994. Toxic cereal grains in coeliac disease. En: *Gastrointestinal Immunology and Gluten-Sensitive Disease*. Feighery C, O'Farrelly C, editores. Oak Tree Press, Dublin, pag 203-220.
- Kiskini AA, Argiri KK, Kalogeropoulos MM, Komaitis MM, Kostaropoulos AA, Mandala II, Kapsokelafou M. 2007. Sensory characteristics and iron dialyzability of gluten-free bread fortified with iron. *Food Chem*, 102: 309-316.
- Kobylanski JR, Perez OE, Pilosof AMR. 2004. Thermal transitions of gluten-free doughs as affected by water, egg white and hydroxypropylmethylcellulose. *Thermochim Acta*, 411: 81-89.
- Kupper C. 2005. Dietary guidelines and implementation for celiac disease. *Gastroenterology*, 128: S121-S127.
- Lohiniemi S, Mäki M, Kaukinen K, Laippala P, Collin P. 2000. Gastrointestinal symptoms rating scale in coeliac disease patients on wheat starch-based gluten-free diets. *Scand J Gastroenterol*, 35: 947-949.
- López AC, Pereira AJ, Junqueira RG. 2004. Flour mixture of rice flour, corn and cassava starch in the production of gluten-free white bread. *Brazilian Arch Biol Technol*, 47: 63-70.
- Lovis LJ. 2003. Alternatives to wheat flour in baked goods. *Cereal Foods World*, 48: 61-63.
- Lundin KE, Nilsen EM, Scott HG, Loberg EM, Gjøen A, Bratlie J, Skar V, Mendez E, Lovik A, Kett K. 2003. Oats induced villous atrophy in coeliac disease. *Gut*, 52: 1649-1652.
- Marco C, Rosell CM. 2008. Breadmaking performance of protein enriched, gluten-free breads. *Eur Food Res Technol*, 227: 1205-1213.
- Marconi E, Carcea M. 2001. Pasta from non traditional materials. *Cereal Food World*, 46: 522-530.
- Messens W, De Vuyst L. 2002. Inhibitory substances produced by Lactobacilli isolated from sour-dough A review. *Int J Food Microbiol*, 72: 31-43.
- Mody RJ, Brown PI, Wechsler DS. 2003. Refractory iron deficiency anemia as the primary clinical manifestation of celiac disease. *J Pediat Hematol Oncol*, 25: 169-172.
- Mora S, Barera G, Beccio S, Proverbio MC, Weber G, Bianchi C, Chiumello G. 1999. Bone density and bone metabolism are normal after long-term gluten-free diet in young celiac patients. *Amer J Gastroenterol*, 94: 398-406.
- Moore MM, Schober TJ, Dockery P, Arendt EK. 2004. Textural comparison of gluten-free and wheat based doughs, batters and breads. *Cereal Chem*, 81: 567-575.
- Moore MM, Heinbockel M, Dockery P, Ulmer HM, Arendt EK. 2006. Network formation in gluten-free bread with application of transglutaminase. *Cereal Chem*, 83: 28-36.

- Moore MM, Juga B, Schober TJ, Arendt EK. 2007. Effect of lactic acid bacteria on properties of gluten-free sourdoughs, batters, and quality and ultrastructure of gluten-free bread. *Cereal Chem*, 84: 357–364.
- Murray JA. 1999. The widening spectrum of celiac disease. *Am J Clin Nut*, 69: 354-355.
- Nishita KD, Roberts RL, Bean MM, Kennedy BM. 1976. Development of yeast-leavened rice bread formula. *Cereal Chem*, 53: 626-635.
- Osborne TB. 1924. *Vegetable proteins*. Longmans Green, London.
- Olantunji O, Koleoso OA, Oniwinde AB. 1992. Recent experience on the milling of sorghum, millet and maize for making non wheat bread, cakes and sausage in Nigeria. En: *Utilization of Sorghum and Millets*. International Crops Research Institute for the semi-arid tropics. Gomez MI, House LR, Rooney LW, Dendy DAV, editores. Patancheru, India, pag 83-88.
- Renzetti S, Bello FD, Arendt EK. 2008. Microstructure, fundamental rheology and baking characteristics of batters and breads from different gluten-free flours treated with a microbial transglutaminase. *J Cereal Sci*, 48: 33-45.
- Repo-Carrasco R, Cortez G, Onofre Montes R, Quispe L, Ramos I. 2007. Cultivos andinos. En: *De tales harinas, tales panes*. León AE, Rosell CM, editores. Báez Editor, Córdoba, Argentina, pag 243-294.
- Ribotta PD, Ausar S, Morcillo M, Pérez GT, Beltramo DM, León AE. 2004. Production of gluten free bread using soybean flour. *J Sci Food Agric*, 84: 1969-1974.
- Rotsch A. 1954. *Chemische und technische Untersuchungen an kunstlichen Teigen*. Brot Gebaeck, 8:129.
- Satin M. 1998. Bread without wheat. Novel ways of making bread from cassava and sorghum could reduce the Third World's dependence on imported wheat for white bread. *New Sci*, 28: 56-59.
- Schober TJ, O'Brien CM, McCarthy D, Darnedde A, Arendt EK. 2003. Influence of gluten-free flour mixes and fat powders on the quality of gluten-free biscuits. *Eur Food Res Technol*, 216: 369–376.
- Schober TJ, Messerschmidt M, Bean SR, Park SH, Arendt EK. 2004. Gluten free bread from sorghum: quality difference among hybrids. *Cereal Chem*, 82: 394-404.
- Sciarini L, Ribotta P, León A, Pérez, GT. 2008. Influence of gluten-free flours and their mixtures on batter properties and bread quality. *Food Bioprocess Technol*. DOI 10.1007/s11947-008-0098-2.
- Sciarini LS, Binaghi MJ, Greco CB, Pellegrino NR, Pérez GT, Ronayne de Ferrer PA. 2007. Fortification of gluten free breads with iron and soy flour. *First ICC Latinoamerican Conference on Cereals and Cereal Products*. Rosario, Argentina, pag 186.
- Shewry PR, Tatham AS, Kasarda DD. 1992. Cereal proteins and coeliac disease. En: *Coeliac Disease*. Marsh MN, editor. Blackwell Scientific Publications, Oxford UK, pag 305-348.
- Sivaramakrishnan HP, Senge B, Chattopadhyay PK. 2004. Rheological properties of rice dough for making rice bread. *J Food Engin*, 62: 37–45.
- Srinivasan U, Leonhard N, Jones E, Kasarda DD, Weir DG, O'Farrelly C, Feighery C. 1996. Absence of oats toxicity in adult coeliac disease. *Brit Med J*, 313: 1300-1301.

- Stevens F. 1980. Celiac disease, clinical manifestations. *Practical Gastroenterol*, 4: 10-17.
- Thomann R. 2007. Technology for gluten-free pasta. *First International Symposium on Gluten-Free Cereal Products and Beverages*. University College Cork, Ireland, pag 43.
- Thompson T. 2000. Folate, iron, and dietary fiber contents of the gluten-free diet. *J Am Diet Assoc*, 100: 1389-1396.
- Thompson T. 2001. Wheat starch, gliadin and the gluten free diet. *J Am Diet Assoc*, 101: 1456-1459.
- Turabi E, Sumnu G, Sahin S. 2008. Rheological properties and quality of rice cakes formulated with different gums and an emulsifier blend. *Food Hydrocolloids*, 22: 305-312.
- Visakorpi J.K. 1996. Changing features of coeliac disease. En: Maki M, Collin P, Visakorpi JK, editores. *Coeliac disease. Proceedings of the Seventh International Symposium on Coeliac Disease*. Tampere, Finland, pag 1-8.
- Wieser H. 1995. The precipitating factor in coeliac disease. En: *Coeliac Disease*. Howdle PD, editor. Bailliere's Clinical Gastroenterology. Bailliere Tindall, Londres, pag 191-207.
- Wieser H, Koehler P. 2008. The biochemical basis of celiac disease. *Cereal Chem*, 85: 1-13.
- Wilson S, Blaschek K, de Mejia E. 2005. Allergenic proteins in soybean: processing and reduction of P34 allergenicity. *Nutr Rev*, 63: 47-58.
- Yazynina E, Johansson M, Jägerstad M, Jastrebova J. 2008. Low folate content in gluten-free cereal products and their main ingredients. *Food Chem*, 111: 236-242.

## IX. Aspectos legales en relación con los alimentos funcionales: definiciones y normativa

Mariane Lutz

Universidad de Valparaíso y CREAS, Chile

Carola Greco

Universidad de Buenos Aires, Argentina

María Joao Trigo

Instituto Nacional de Recursos Biológicos, IP, L-INIA, Oeiras, Portugal

En este capítulo se describen los objetivos del etiquetado o rotulado de alimentos, forma de comunicar sus propiedades nutricionales y saludables al consumidor, estas últimas en forma de mensajes o proclamas. La tendencia actual es unificar los criterios normativos de todos los países para facilitar el intercambio comercial, incluyendo consideraciones éticas, a la vez que asegurar que los consumidores dispongan de alimentos inocuos. En Europa se ha avanzado bastante en la búsqueda de una legislación común, que ha sido acordada por el Parlamento Europeo, en tanto que en los países americanos la situación aún es incipiente en este sentido. En este capítulo se presentan algunas situaciones de la normativa vigente europea y de dos países sudamericanos (Argentina y Chile), que en alguna medida reflejan la tendencia global en estas materias, incluyendo las definiciones y normas que regulan la comercialización de alimentos funcionales (AF).

### Legislación alimentaria

Los cambios en el modo de vida de las sociedades modernas, especialmente en lo que respecta a la constitución de las familias, al número de comidas servidas en casa y fuera de casa y al tiempo ocupado en la preparación de alimentos, han llevado a cambios del modelo de consumo en los últimos treinta años (Azevedo 2007). La industria alimentaria ha respondido a esta necesidad, introduciendo en el mercado productos cada vez más procesados que están constituidos por una lista numerosa de ingredientes, así como diversos productos listos para un consumo inmediato. Paralelamente, los consumidores comenzaron a interesarse cada vez más por los efectos beneficiosos de determinados alimentos. Así, la industria introdujo en el mercado un número cada vez mayor de alimentos con mensajes relacionados con sus propiedades nutricionales o a los efectos beneficiosos del alimento sobre la salud del consumidor, como es el caso de los AF.

La comunicación de las propiedades de cada producto se hace principalmente a través de su etiqueta, y frente al progresivo interés de los consumidores, el rotulado ha venido adquiriendo

cada vez mayor relevancia (Kleiman y Moreno 2006). El objetivo del etiquetado o rotulado de los alimentos es, fundamentalmente, el de garantizar a los consumidores una información completa sobre su contenido y composición, a fin de proteger su salud y cautelar una comercialización ética. La información que brindan los rótulos es de suma importancia, pues debe permitir al consumidor conocer las características particulares de los alimentos, su forma de preparación, manipulación y conservación, sus propiedades nutricionales, su contenido; así, esa información le facilitará tomar decisiones apropiadas que contribuyan a mejorar su nutrición, su salud y bienestar. La etiqueta puede contener también información relativa a una característica determinada, como el origen del producto o el método de producción. Algunos productos son, además, objeto de una normativa específica, como los organismos modificados genéticamente, los alimentos alergénicos, los alimentos para bebés, entre otros.

La legislación puede definirse como el conjunto de prescripciones o normativas legales emanado del poder legislativo que regula una determinada materia, y cada país o agrupación de países posee su propia legislación en materias alimentarias. En la Comunidad Europea comprende las disposiciones legislativas, reglamentarias y administrativas que rigen los alimentos en general y su inocuidad, a nivel comunitario y nacional, según la normativa del Parlamento Europeo, que se aplica “de la granja a la mesa”, es decir, toda la cadena alimentaria. Estas materias pueden ser revisadas en el Diario Oficial de la Comunidad Europea ([http://europa.eu/documents/eur-lex/index\\_es.htm](http://europa.eu/documents/eur-lex/index_es.htm)).

Considerando la definición y el carácter obligatorio de la mayoría de las normas jurídicas, los alimentos producidos en cualquier país miembro de la Comunidad Europea o importados de países terceros deben satisfacer la legislación vigente. Los principales usuarios de esta normativa son los operadores y los técnicos de las empresas del sector alimentario, así como las autoridades competentes del Estado Miembro responsables por la fiscalización del cumplimiento de la legislación alimentaria. Más allá de estos agentes, existen otros que de algún modo intervienen en el mercado, tales como asociaciones de productores, industriales, comerciantes y consumidores, sindicatos, organismos de normalización y de evaluación de la conformidad, profesionales y asociaciones de salud.

## Calidad y sellos de calidad de alimentos

La calidad de un alimento es el resultado de su proceso de elaboración a lo largo de toda la cadena productiva y comercial. Comprende el resguardo de la seguridad e inocuidad, aspectos alimentario-nutricionales, atributos de valor tales como las características organolépticas, aspectos éticos como el respeto al medio ambiente y a las leyes sociales de los trabajadores involucrados en la producción, el respeto a las tradiciones, ideologías, religiones, así como también las garantías de certificación y trazabilidad, información, disponibilidad y precio (Peri 2006).

El consumidor desea comprar alimentos con características específicas, y para ello necesita un sistema en el cual pueda confiar y que le brinde una satisfacción: la certificación, que le permite

identificar un alimento con esas características. En esta situación un término clave es la confianza, ya que recibe una confirmación que le indica que el producto cumple con las normas vigentes y, además, el estado las confirma. La certificación establece, entonces, una relación de confianza entre el productor y el consumidor, lo que la convierte en una herramienta ética.

Toda la cadena agroalimentaria necesita certificar su calidad en aspectos de inocuidad, medio ambiente, salud y seguridad. Para ello, se cuenta con diversos documentos, protocolos y normativas que han surgido debido a la demanda de los distintos países en relación con la comercialización de los alimentos, como las normas ISO (ISO 2005), emitidas por la Organización Internacional para Estandarización y la IAF (*International Accreditation Forum*), que reúne organismos de diversos países y acredita organismos certificadores. Algunas de las normativas aplicadas son las BPA (Buenas Prácticas Agrícolas), BPM (Buenas Prácticas de Manufactura), BPH (Buenas Prácticas de Higiene), HACCP (Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control), GFSI (*Global Food Safety Initiative*), entre otras. Así, los Sistemas de Aseguramiento de la Calidad Alimentaria permiten garantizar las condiciones favorables para la producción de alimentos inocuos, en tanto que el sistema HACCP sistematiza la identificación de los peligros específicos y las medidas para su control con el fin de garantizar la inocuidad de los alimentos.

En el mercado internacional las regulaciones, protocolos y normas de mayor aplicación incluyen el *Codex Alimentarius* ([www.codexalimentarius.net/web](http://www.codexalimentarius.net/web)), que acopia el sistema internacional para estándares de alimentos, reconocido por la Organización Mundial de Comercio, que considera los principios generales de higiene de los alimentos y directrices para la aplicación de HACCP. Uno de los aspectos clave de la certificación de calidad es la trazabilidad, referida a la capacidad de rastrear la historia de un producto por medio de identificaciones y registros de su trayectoria, y que se ha comenzado a exigir en forma obligatoria en algunos países.

La certificación de las propiedades de los alimentos permite establecer en ellos un Sello de Calidad, de naturaleza voluntaria, que hace referencia a un atributo de valor diferenciador, característica que está por sobre el nivel básico de inocuidad que debe cumplir todo alimento. Un Sello de Calidad es idóneo en la medida que sea verificado por una entidad independiente del productor o de la empresa que elabora el alimento, a la cual se le asigna la responsabilidad de verificar, en base a análisis objetivos y de acuerdo con estándares preestablecidos, que el producto responde a los atributos de valor que declara. De esta forma, el Sello de Calidad es una herramienta de comercialización que puede ser reconocida por los consumidores e indica que el producto y su procesamiento cumplen con los estándares de calidad requeridos (Oyarzún 2002). Para que sea efectivo, es necesario que sea reconocido por el mercado objetivo del producto, que garantice que un organismo independiente controla o verifica la característica diferenciadora del producto, que la entidad certificadora sea reconocida como autoridad en la materia que avala, que el consumidor sea educado en los atributos diferenciadores que avala el Sello, que exista un mercado interesado en los atributos diferenciadores del producto, con capacidad de compra para pagar el valor agregado por el atributo de valor diferenciador. El Sello permite mejorar la diferenciación del producto en el punto de venta, da confianza al consumidor y le otorga una garantía de conformidad con estándares locales o internacionales.

Entre los parámetros de mayor interés para certificar en alimentos destaca la presencia de contaminantes, tales como residuos de antibióticos o pesticidas, la presencia de no nutrientes como aditivos alimentarios, el contenido de compuestos nutritivos: vitaminas, ácidos grasos, colesterol, minerales, entre otros, y hoy en día es fundamental la certificación de su contenido de compuestos saludables bioactivos: antioxidantes, quimiopreventivos, fitoestrógenos, fitoesteroles y fitoesteroles, ácidos grasos omega-3, que pueden cumplir un rol en la contribución a la reducción del riesgo de enfermedades prevalentes en la población (Muller y Steinhart 2006).

## Alimentos funcionales (AF)

Fue hace alrededor de veinte años que se desarrolló el concepto de alimentos para uso saludable específico (FOSHU, *Foods for Specified Health Uses*) en Japón, un país que exhibe un enorme mercado de estos productos ([www.functionalfoods-japan.com](http://www.functionalfoods-japan.com)). A partir de esta innovación, los diversos países y agrupaciones de países fueron incorporando el término de AF en sus legislaciones y normativas de alimentos, aunque a la fecha aún no hay consenso acerca de cuál es la definición universal. En Japón, el Ministerio de Salud y Bienestar ha formulado normas para la aprobación de AF desde mediados de la década de 1980, y los productos aprobados pueden llevar un rótulo de aprobación ministerial. En ese país se han desarrollado más de 1700 AF en diez años, de los cuales por encima de 200 son categorizados como funcionales o FOSHU ([www.mhlw.jp](http://www.mhlw.jp)). La principal dificultad al legislar sobre esta materia surge de la declaración de efectos beneficiosos para la salud que se pueden obtener de su consumo, que debe basarse en la evidencia científica que avale estas propiedades (véase capítulo III).

Hoy en día se encuentra una gran variedad de definiciones del término AF, generadas por diferentes organismos. La Academia de Ciencias de los Estados Unidos los define como «alimentos modificados o que contengan un ingrediente que demuestre una acción que incremente el bienestar del individuo o disminuya los riesgos de enfermedades, más allá de la función tradicional de los nutrientes que contiene» (*American Dietetic Association* 1999). Por otra parte, ILSI (*International Life Sciences Institute*) indica que «Un alimento puede ser considerado como funcional cuando contiene al menos un ingrediente y/o cuya composición final ha demostrado tener un efecto positivo en una o más funciones corporales, de una forma relevante, tanto para mejorar el estado de salud y bienestar y/o reducir el riesgo de enfermedad» (Clydesdale 1999).

En general, se acepta que «puede considerarse como funcional a todo alimento que, además de su valor nutritivo, aporta algún efecto añadido y beneficioso para la salud, que va más allá de la estricta nutrición, y que puede ser preventivo o terapéutico» (Barberá Mateos 2007). Estas definiciones son genéricas, lo que permite que cualquier alimento pueda cumplir con las condiciones de la definición y de esta forma el término funcional pierde su especificidad.

El Centro de Información Internacional de Alimentos (IFIC) define a los AF como «aquellos alimentos cuyos ingredientes afectan beneficiosamente la salud, más allá de la nutrición básica» y define como alimentos saludables a aquellos que, «en su estado natural o con un mínimo de

procesamiento, tienen compuestos con propiedades beneficiosas para la salud” ([www.IFIC.org/](http://www.IFIC.org/)). En este sentido, resultaría acertado que los alimentos naturales que cumplen con estas propiedades se denominen alimentos saludables, dejando el uso del término funcional a aquellos que han experimentado algún cambio por el procesamiento que conlleve un aumento de sus propiedades saludables. La perspectiva europea de los AF difiere de la norteamericana, ya que esta última los incorpora en el grupo de los «nutracéuticos». En consecuencia, en Europa el concepto sólo se aplica a alimentos que constituyen habitualmente parte de la dieta y excluye su consumo en forma de cápsulas, comprimidos u otras formas farmacéuticas (Milner 2002).

En Chile, a la fecha, el Reglamento Sanitario de Alimentos (2005) no incluye la definición del término; sin embargo, en 2007, un grupo de expertos que asesora al Ministerio de Salud en materia de Mensajes Saludables propuso la incorporación de la siguiente definición: “Un alimento es considerado funcional si tiene uno o más componentes que satisfactoriamente demuestran que afectan beneficiosamente una o más funciones determinadas del organismo, además de sus efectos nutricionales fundamentales, de manera que sean relevantes tanto para mejorar el estado de salud y bienestar y/o la reducción del riesgo de alguna enfermedad. Un AF debe ser un alimento y debe demostrar sus efectos en cantidades que normalmente se consuman en la dieta”.

En cualquier caso, las definiciones coinciden en que los AF poseen la característica de haber sido diseñados de forma tal que algunos de sus componentes afectan funciones del organismo de manera específica y positiva, promoviendo un efecto fisiológico o psicológico más allá de su valor nutritivo tradicional, contribuyendo a la mantención de la salud y bienestar o a la disminución del riesgo de enfermar (Araya y Lutz 2003). Según el IFT (*Institute of Food Technologists*), el concepto de AF es más amplio y abarca a la dieta en su globalidad, incluyendo dentro de este grupo a alimentos modificados, así como a alimentos fortificados y suplementos dietarios (Jones y Jew 2007).

El concepto de AF se ha globalizado y popularizado entre los consumidores, que se manifiestan cada vez más interesados en la relación entre salud y dieta, demandando productos que ofrecen beneficios adicionales para la salud, en tanto que los industriales ven la oportunidad de desarrollar productos de esta naturaleza en un mercado de rápida expansión. Hoy en día la investigación, el desarrollo y la innovación en AF son prioritarias en diversos países, y ya se cuenta con normas específicas propias para agrupaciones de países. Es el caso de la Comunidad Europea, Asia y Norteamérica, con organismos dedicados a su fomento y normativa, como lo es ILSI. La investigación en relación con estos alimentos se realiza generalmente en forma asociativa, por ejemplo, a nivel de la Comunidad Europea existen redes de investigación y desarrollo entre los países que se abocan al estudio de temas específicos, como el de los efectos beneficiosos del consumo de determinados fitoquímicos bioactivos ([www.functionalfoodnet.org](http://www.functionalfoodnet.org)). La reglamentación ha debido construirse a la par que se desarrollan nuevos productos, y en la actualidad aún no existe consenso entre los diversos grupos de países en algunos aspectos relacionados con ellos. La industria alimentaria, en tanto, realiza investigación y desarrollo en esta materia, y las principales compañías cuentan ya con una división de AF.

## Mensajes saludables (*health claims*)

Según el *Codex Alimentarius*, "Proclama Alimentaria" (o "Mensaje Saludable") es cualquier representación que afirma, sugiere o implica que un alimento tiene ciertas características relacionadas con su origen, propiedades nutricionales, naturaleza, producción, procesamiento, composición o cualquier otra cualidad (Diplock y otros 1999). El tema de las declaraciones de propiedades de los alimentos es relevante para todos los grupos de la población, ya que muchos consumidores de diferentes condiciones fisiológicas y/o patológicas optan por incorporar en su dieta alimentos con una función determinada relacionada con su salud. A modo de ejemplo, se estima que 8% a 10% de los españoles son consumidores habituales o cíclicos de suplementos alimentarios, mientras en los países del Norte de Europa este porcentaje ronda el 30%. Es, por lo tanto, comprensible que la Unión Europea haya decidido legislar sobre esta materia, con el objetivo de asegurar un correcto etiquetado de los productos con mensajes o alegaciones, como medio de garantizar un elevado nivel de protección de los consumidores y de facilitar su elección informada de productos. La Unión Europea, conjuntamente con ILSI, ha establecido una red multidisciplinaria abocada al estudio de los beneficios para la salud de los AF, a través del proyecto FUFOSÉ (*Functional Food Science in Europe*), iniciado en 1995 ([www.fufose.com/](http://www.fufose.com/)). El *Scientific Committee on Food* (SCF), de la Dirección General de Salud y Seguridad del Consumidor, establece el marco científico de referencia sobre el que se acepta o rechaza un nuevo alimento. No existe una normativa armonizada acerca del etiquetado nutricional y proclamas, pero hay unanimidad en que deben estar basadas en investigación científica, no ser ambiguas y ser claras para el consumidor (Bellisle 1998).

Como se ha señalado, el objetivo de los mensajes es proteger la salud y los derechos de los consumidores. El Reglamento del Parlamento Europeo se relaciona con las declaraciones nutricionales y de propiedades saludables de los alimentos: diversas normas emanadas desde 2002 a la fecha prohíben las declaraciones nutricionales y de propiedades saludables que sean falsas, engañosas o no estén científicamente comprobadas y/o que pueden tener efectos negativos sobre la salud de los consumidores (CE Nº 178/2002, CE Nº 107/2008 y CE Nº 109/2008). De esta manera, se ha creado un listado armonizado de las declaraciones y las condiciones para su autorización en toda la Unión Europea, definida con valores precisos y cuantificables. El Reglamento europeo se aplica a todas las declaraciones nutricionales y de propiedades saludables, incluidas las comunicaciones destinadas a la comercialización (etiquetado, presentación y campañas publicitarias), así como las marcas y otras denominaciones comerciales que puedan interpretarse como declaraciones nutricionales o de propiedades saludables (CE Nº 1924/2006), y no se aplica a las declaraciones relativas a los efectos perjudiciales de un producto alimenticio.

Cuando se efectúa una declaración de propiedades saludables, se aplican las normas establecidas para el etiquetado nutricional (Directiva 90/496/CEE). Así, en el etiquetado figura el valor energético, la cantidad de proteínas, hidratos de carbono, lípidos, ácidos grasos saturados, fibra dietética y sodio. Por otra parte, el objetivo del Parlamento Europeo (Directiva 2003/89/CE 2003) referente a alérgenos es proporcionar, a los consumidores que sufren alergias o intolerancias alimentarias, una información más completa sobre la composición de los productos por medio

de un etiquetado más exhaustivo. Se establece una lista de alérgenos que deben figurar en el etiquetado de los productos alimentarios y suprime la posibilidad de utilizar el nombre de categoría para determinados ingredientes cuya lista se elabora en consulta a la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (AESA).

En términos generales, el etiquetado y/o la campaña publicitaria en que se haga uso de un mensaje saludable debe entregar determinada información:

- la importancia de una alimentación y un modo de vida saludable
- la cantidad de alimento y el modo de consumo con los que se consigue el beneficio declarado
- las personas que deben evitar consumir el producto alimentario
- una indicación de los riesgos para la salud en caso de consumo excesivo.

Para incorporar un nuevo mensaje a la lista existente, el interesado envía una solicitud a la autoridad nacional competente de un Estado miembro, que la transmite a la AESA, y una Comisión *ad hoc* toma una decisión al respecto una vez obtenido el dictamen de esta agencia. La legislación sobre los mensajes o declaraciones nutricionales y de propiedades saludables protege al consumidor al prohibir información falsa, ambigua o engañosa (por ejemplo, que atribuya propiedades medicinales al alimento, sin razón o sin que se haya demostrado científicamente), que dé lugar a dudas sobre la inocuidad o la adecuación nutricional de otros alimentos (publicidad comparativa), que aliente o apruebe el consumo excesivo de un alimento, que incite al consumo de un producto afirmando, sugiriendo o dando a entender que una alimentación equilibrada no proporciona todos los nutrientes necesarios, que se refiera a cambios en las funciones corporales que pudieran crear alarma en el consumidor. El Reglamento europeo complementa la directiva relativa al etiquetado, que prohíbe la información que puede inducir a error al consumidor. El Comisario Europeo de Sanidad (EFSA), por su parte, se preocupa por la salud de sus ciudadanos y hacer que sus políticas sean realmente beneficiosas. Entre sus responsabilidades no sólo está la salud pública, sino también la inocuidad alimentaria y la sanidad y el bienestar de los animales. Junto con los gobiernos y la sociedad civil, el objetivo del Comisario es mantener y mejorar la salud de los europeos y asegurar que sus derechos estén protegidos adecuadamente.

En Estados Unidos, la *Food and Drug Administration* (FDA) exige, desde 1990, el etiquetado nutricional para la mayoría de los alimentos con mensajes relacionados con la salud (*Nutrition Labeling and Education Act* 1990). En el Acta de 1994 (*Dietary Supplement Health and Education*), los AF son definidos como “productos que contienen un componente, nutriente o no nutriente, tales como vitaminas, minerales, extractos de plantas, aminoácidos, fitoquímicos, con efecto selectivo sobre una o varias funciones del organismo, con un efecto fisiológico añadido por encima de su valor nutricional y cuyos efectos positivos justifican el hecho de que pueda reivindicarse su carácter funcional (fisiológico) o saludable” (Storlie y otros 1998, Camire y Cantor 1999, Aranceta 2001). La definición de una proclama que entrega la FDA indica que “es cualquier información que, de forma expresa o implícita, caracteriza la relación entre una sustancia y una enfermedad o

una condición de salud” (Milner 2002). Se considera que un alimento es funcional “si demuestra satisfactoriamente que puede contribuir a fomentar un estado de salud y bienestar o reducir el riesgo de enfermar.” Los atributos funcionales de alimentos o sus constituyentes se comunican a través de los mensajes saludables aprobados por la FDA, luego de la revisión exhaustiva de la información científica relativa al tema. La regulación en relación con los AF está siendo constantemente revisada y modificada, y constituye uno de los temas de mayor dinamismo en los organismos regulatorios y en la industria alimentaria.

Chile sigue la tendencia global, y el Ministerio de Salud del país ([www.minsal.cl](http://www.minsal.cl)) ha aprobado el empleo de una serie de mensajes saludables asociados a la comercialización de alimentos que contienen ingredientes bioactivos, como es el caso de algunos que contienen ácidos grasos poliinsaturados omega-3 de cadena larga, fibra dietética, prebióticos, probióticos, entre otros, así como también se hace uso de descriptores asociados a atributos saludables, como es el caso de alimentos bajos en sodio, bajos en grasa saturada y colesterol, altos en calcio, entre otros. En estos casos, el productor puede hacer una declaración pública del beneficio que el consumo de estos alimentos representa para el consumidor. El Ministerio de Salud chileno estableció las normas técnicas sobre las directrices que permiten declarar propiedades saludables de los alimentos en su rotulación y expendio, con el objeto de contribuir a que la población sea capaz de seleccionar y discriminar entre los alimentos aquellos que les sean más convenientes para alcanzar una nutrición y salud óptima. Los AF deben ajustarse a la normativa vigente, ser inocuos y cumplir con todo lo que establece el Reglamento correspondiente (Reglamento Sanitario de los Alimentos 2005), con las Resoluciones y Normas Técnicas complementarias. Sin embargo, aun cuando el uso del término AF es común y existe una variedad de alimentos en el mercado que obedecen al concepto, la definición oficial no está incorporada al Reglamento. Por esta razón, el Ministerio de Salud ha recomendado buscar una definición que pueda ser aplicada en forma operativa por los industriales y comprendida por los consumidores, para facilitar una compra informada de productos que poseen valor agregado saludable.

En la propuesta de definición chilena, que se indicó más arriba, los AF pueden ser naturales o procesados, como también haber sido obtenidos por manipulación genética u otras intervenciones. Para aplicar la definición son relevantes dos propiedades:

1. Que se presenten en la forma de alimentos y formen parte de la dieta, por lo que no caben en este grupo las formas farmacéuticas (cápsulas, comprimidos u otros) que pueden contener compuestos bioactivos, pero en este caso son productos nutracéuticos que se expenden como suplementos alimentarios o, si se les atribuye efectos terapéuticos de cualquier índole, pasan a la categoría de fitofármacos, y
2. Que se demuestre satisfactoriamente que ejercen un efecto beneficioso para la salud de las personas que los consumen, efecto que apunta fundamentalmente a la reducción de factores de riesgo de desarrollar enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT). Esto debe ser posible de ser evaluado a través de ensayos *in vitro*, *in vivo* y pruebas clínicas realizadas

en voluntarios que ingieren los AF y se miden los cambios ocasionados por su ingestión dietética en biomarcadores adecuados para lo que se desea medir, ya sea en plasma u orina o pruebas de otra naturaleza, como pueden ser pruebas de aprendizaje o memoria, si es el caso (véase capítulo III).

Todo mensaje saludable debe basarse en estudios realizados metodológicamente de manera correcta. En general, cuando se fundamenta una declaración, los estudios experimentales o de intervención en humanos son más útiles que los estudios observacionales (Ramos y otros 2007). Esto se debe a que los estudios experimentales son menos susceptibles de mostrar sesgos en la muestra analizada con respecto a los primeros, pero también debe tenerse en cuenta que son más difíciles de realizar. Existen diversos factores que pueden mejorar la validez de los estudios usados para fundamentar los mensajes saludables: que los sujetos sean representativos del grupo al que va dirigida la declaración, que el estudio se realice sobre un número suficientemente grande de sujetos y durante un tiempo suficientemente prolongado, que los resultados se midan por metodologías estandarizadas y/o validadas. Recientemente, el Comité de AF de ILSI Argentina (Rabanal 2007) estableció que los alimentos a los que se apliquen declaraciones de propiedades saludables deben cumplir como prerrequisito con las exigencias referidas a inocuidad y calidad establecidas en la legislación nacional para el alimento en cuestión.

Además, en cuanto a la evidencia científica que es presentada para avalar la declaración de salud que se solicita sea aprobada, deberán evaluarse tanto la naturaleza y calidad de esa evidencia científica como su ámbito de aplicación. Es fundamental la presentación de trabajos de investigación en animales de experimentación o bien, siempre que sea posible desde el punto de vista ético y científico, deberán aportarse los resultados de investigaciones en humanos, realizadas con protocolos validados por un comité de ética, que demuestren fehacientemente la relación entre la propiedad saludable enunciada y el efecto provocado por el alimento. Además, deberá adjuntarse la monografía descriptiva del alimento donde se incluya la propuesta de redacción del mensaje saludable que se desea comunicar. Esta metodología es prácticamente equivalente a la que se aplica actualmente en Chile, lo que refleja que los países han debido responder con prontitud a la demanda de la industria alimentaria frente a los desafíos que involucra satisfacer al consumidor de hoy. Para lograr que este avance sea éticamente responsable, es imprescindible la acción concertada de los científicos, la empresa, los gobiernos y los consumidores.

Si una empresa desea comercializar AF nuevos o que no tengan mensajes saludables definidos en la reglamentación chilena, debe solicitar al Ministerio de Salud una autorización fundada para la incorporación del nuevo AF y su respectivo mensaje. Para ello, el AF debe cumplir con todos los requisitos que establece el Reglamento, y se debe adjuntar una muestra física, incluyendo toda su rotulación y la publicidad que se proyecta incorporar, un certificado de libre venta en el caso de los alimentos importados, una ficha técnica completa, que incluya la composición química (humedad, cenizas, proteínas, lípidos, hidratos de carbono disponibles, fibra dietética y aporte de energía, por cada 100 g), el tamaño de la porción, en medidas caseras y en unidades del sistema métrico (g o mL), el aporte por cada 100 g y por porción de consumo

habitual, el contenido de energía y nutrientes básicos y el contenido de cualquier otro nutriente o compuesto bioactivo al cual se le atribuye la propiedad funcional, la lista de ingredientes cualitativa, en orden decreciente, es decir, deberá indicar todos los ingredientes constituyentes del alimento con su nombre específico y en el caso de los vegetales y animales se debe incluir su nombre científico. En el caso de los aditivos, se debe incluir, además del nombre, el número que le corresponde según el *Codex Alimentarius*, e indicar en forma precisa el nombre del o de los ingredientes caracterizantes, a los cuales se le atribuye la propiedad funcional, la lista de ingredientes cuantitativa, indicando las cantidades aproximadas, es decir en g/100 g, y si se usan ingredientes compuestos, se deberá indicar el nombre de todos los constituyentes y sus cantidades. También se debe incluir todos los certificados de análisis que ratifican los aportes de nutrientes y de los factores alimentarios declarados, adjuntar la documentación del respaldo científico del mensaje o mensajes que se deseen incorporar y sus fundamentos en forma precisa. En el mercado actual chileno se encuentra una variada gama de productos innovadores que se pueden calificar como AF, tales como alimentos lácteos con probióticos y/o prebióticos, lácteos y alimentos grasos que contienen ácidos grasos omega-3, fitoesteroles y fitoestanoles, entre otros, y es responsabilidad del productor, la academia y los organismos regulatorios contribuir a orientar a los consumidores a escoger los alimentos que les aporten mayores beneficios.

A nivel de MERCOSUR, el rotulado nutricional es obligatorio para todos los alimentos y bebidas que son producidos, comercializados y envasados en los países miembros, aunque hay ciertas excepciones. En Argentina, el rotulado se define como "toda descripción destinada a informar al consumidor sobre las propiedades nutricionales de un alimento" (Código Alimentario Argentino 2005) y prevé complementar estrategias y políticas de salud en beneficio de la salud del consumidor y facilitar la comercialización de los alimentos entre los miembros del MERCOSUR. Comprende dos elementos: la declaración del valor energético y de nutrientes y la información nutricional complementaria o mensajes nutricionales, que es facultativa. La información nutricional complementaria se define como "cualquier representación que afirme, sugiera o implique que un producto posee propiedades nutricionales particulares" y debe ser acompañada por la declaración de la cantidad del o de los nutrientes acerca de los cuales se haga referencia en tal declaración. Los mensajes nutricionales pueden expresarse como contenido absoluto o como contenido comparativo. En el caso de la utilización de atributos absolutos, se deben declarar los niveles o cantidades de los nutrientes y/o del valor energético y ello incluye términos o descriptores como bajo, muy bajo, no contiene, sin agregado, alto contenido, fuente, o sinónimos permitidos tanto en español como en inglés. Si se emplean atributos comparativos, debe realizarse la comparación con uno o más alimentos de referencia y la diferencia en el atributo de la comparación debe estar expresada cuantitativamente en el rótulo. Los atributos comparativos incluyen términos como reducido y aumentado o sus equivalentes permitidos. Entre los distintos mensajes que pueden figurar en los alimentos, es importante resaltar algunas de las declaraciones que suelen observarse con mayor frecuencia, que incluyen declaraciones referidas al contenido de los ácidos grasos trans: "libre de trans", "sin trans", "0 trans"; declaraciones referidas al contenido de colesterol "sin colesterol" o "0 colesterol"; declaraciones referentes a la reducción del valor energético, al alto contenido de fibra, entre otras (Olivera Carrión 2007).

Entre los principales grupos de alimentos que podrían calificarse como funcionales presentes en el mercado iberoamericano se pueden mencionar productos que contienen fitoquímicos como carotenoides, flavonoides, taninos, alimentos con fitoestrógenos como las isoflavonas, alimentos con probióticos (leches, yogures, quesos), alimentos con prebióticos (leches fluidas y leche deshidratada para niños a partir de un año, productos de panificación), alimentos simbióticos, es decir, aquellos que contienen una mezcla de probióticos con prebióticos, alimentos con fibra dietética (panes, barras, mezclas de cereales para desayuno, algunas leches), alimentos con fitoesteroles (margarina, leche, jugos, diversos panes de molde y premezclas para panes de panadería), alimentos con ácidos grasos omega-3 (lácteos, postres), alimentos con ácido linoleico conjugado (CLA), entre otros. Se observa que los principales AF que se elaboran y comercializan en países como Argentina y Chile están orientados a ejercer efectos positivos sobre el sistema gastrointestinal y el sistema cardiovascular. En Argentina, de manera similar a lo que ocurre a nivel internacional, se observa una continua, aunque lenta, producción y desarrollo de nuevos productos que obedecen a estos criterios (Olivera Carrión 2007).

No todos los alimentos que contienen compuestos bioactivos saludables (que son prácticamente todos los productos vegetales) pueden considerarse AF, ya que las concentraciones de los fitoquímicos presentes muchas veces son muy bajas para alcanzar a ejercer un efecto demostrable a través de pruebas experimentales, y no basta su presencia para darles el calificativo de funcionales (Katan y De Roos 2003). Por esta razón, en algunos países se está empleando el término de "superfrutas" para hacer referencia a aquellas que, en su estado natural, contienen niveles altos de algunos componentes bioactivos beneficiosos (Tallon 2008). Estas situaciones han creado gran confusión en el sentido de que en algunos países se denomina como AF a productos como frutas y verduras de alto contenido de polifenoles, licopenos u otros carotenoides antioxidantes, así como a productos elaborados a partir de mezclas de frutas u hortalizas, sus jugos o zumos, o a los cereales integrales altos en fibra dietética, entre otros ejemplos. Sin embargo, para que un alimento elaborado con vegetales sea realmente funcional, las concentraciones de compuestos bioactivos debe ser tal que se pueda evidenciar su efecto luego del consumo del alimento en forma normal en la dieta. Un caso que ejemplifica esta situación es el té, especialmente el verde, que es alto en catequinas bioactivas; sin embargo, para que el efecto beneficioso sea evidenciado sería necesario tomar una gran cantidad de tazas de la infusión, lo que es impracticable, de forma que el compuesto bioactivo (epigallocatequina galato o EGCG) se extrae, concentra e incorpora en alimentos otorgándoles la característica funcional.

Otro ejemplo de aplicación de la definición es en los productos de origen marino. Como es ampliamente conocido, los ácidos grasos poliinsaturados omega-3 de cadena larga EPA (20:5n-3) y DHA (22:6n-3), abundantes en los pescados y mariscos grasos, son bioactivos y ejercen diversas acciones beneficiosas para la prevención de ECNT. Sin embargo, los pescados y mariscos *per se* no son AF, y sí lo son aquellos alimentos a los que se han adicionado estos ácidos grasos para alcanzar niveles de ingesta significativos (lácteos, sopas, bebidas, entre otros).

Una característica de los AF es que aportan los agentes bioactivos que no están caracterizados como nutrientes, por lo que una precisión conceptual es que los alimentos fortificados o enriquecidos con vitaminas, minerales u otros nutrientes no alcanzan la categoría de funcionales,

y se les puede denominar como “alimentos nutritivos” (ejemplo: leches altas en calcio y/o vitaminas, cereales fortificados, jugos adicionados de vitamina C, entre otros). Estos mismos productos pasan a la categoría de funcionales si se les adiciona cantidades importantes de compuestos que no son nutrientes, pero ejercen una acción biológica demostrable que redunde en la promoción de la salud o reducción del riesgo de ECNT (por ejemplo: prebióticos).

Una categoría especial de AF la constituyen los alimentos que contienen probióticos. En este caso, el agente bioactivo no es un tipo de moléculas químicas presente en vegetales o animales, sino microorganismos vivos. Más aún, muchas veces no sólo apuntan a la promoción de la salud del consumidor, como hacen los AF, sino que pueden ejercer un efecto terapéutico frente a trastornos digestivos, especialmente del tipo inflamatorio y diarreas, aun cuando se presentan en la forma de alimentos. Este caso ejemplifica que los límites entre los efectos de promoción y recuperación de salud a través de la alimentación son poco delimitados. En la práctica clínica se están empleando mezclas de nutrientes y compuestos bioactivos que actúan sinérgicamente para recuperar distintas funciones del paciente crítico, como es el caso de los polifenoles, que exhiben un claro efecto antiinflamatorio (Shapiro 2007). Entonces, una nutrición enteral o parenteral (administrada por una vía no digestiva) formulada con agentes bioactivos ¿es un AF? Queda planteada la inquietud, lo que muestra que las definiciones, en lo posible, debieran dejar espacio a situaciones especiales y acomodarse a los resultados de la investigación y desarrollo en estas materias.

El gran tema pendiente frente a los AF es el de la evaluación y demostración de los efectos beneficiosos de su consumo y las últimas publicaciones científicas en la materia hacen hincapié en este aspecto en forma creciente (Shahidi 2009). El efecto que el consumo de AF ejercerá en el consumidor depende de muchos factores, partiendo de la forma como el sujeto los digiere y absorbe los agentes bioactivos, es decir, su biodisponibilidad, como asimismo los procesos de metabolismo y distribución, los efectos propios y el antagonismo o sinergia frente a otros constituyentes de la dieta, a bebidas alcohólicas, a infusiones o tratamientos herbales (cada vez más en boga), a fármacos en caso de pacientes en tratamiento, entre otros (Verhagen y otros 2004). Muchos de los compuestos bioactivos son inductores o inhibidores de los sistemas metabolizados, lo que puede afectar su efecto. Por otra parte, la tecnología de obtención e incorporación de los agentes bioactivos en los alimentos también es determinante de su efectividad biológica, por ejemplo, un tratamiento de extracción de compuestos antioxidantes desde frutas puede reducir significativamente su acción, dependiendo del proceso empleado (Jensen y otros 2007).

En suma, un alimento sólo debería ser calificado como AF una vez que haya sido sometido a pruebas validadas de evaluación de sus efectos beneficiosos sobre la salud del consumidor, lo que otorga un fundamento científico a los mensajes que pueden dirigirse al consumidor. Al final de la cadena de ciencia, tecnología e innovación, el consumidor puede escoger su alimento debidamente informado, sobre la base de tres aspectos fundamentales: que sea de buena calidad nutricional, que contribuya a su salud y que sea inocuo.

## Referencias

- American Dietetic Association. 1999. Position of the American Dietetic Association. Functional Foods. *J Amer Diet Assoc*, 99: 1278-1285.
- Aranceta J. 2001. Salud y biotecnología alimentaria: nuevos alimentos, alimentos funcionales y alimentos nutraceuticos. En: *Nutrición Comunitaria*. 2ª edición. Masson, pag 229-243.
- Araya H, Lutz M. 2003. Alimentos saludables y funcionales. *Rev Chil Nutr*, 30: 8-14.
- Azevedo RC. 2007. Alimentos com alegações nutricionais e de saúde. *Revista Segurança e Qualidade Alimentar*, 3: 6-9.
- Barberá Mateos JM. 2007. La imagen de la salud. En: Barberá Mateos JM, Marcos A, editores. *Alimentos Funcionales. Aproximación a una nueva alimentación*. Instituto de Nutrición y Trastornos Alimentarios, Dirección General de Salud Pública y Alimentación, Subdirección General de Alimentos. Comunidad Autónoma de Madrid, pag 10-29.
- Bellisle F, Diplock AT, Hornstra G, Koletzko B, Roberfroid M, Salminn S, Saris WHM. 1998. Functional food science in Europe. *Brit J Nutr*, 80 Suppl 1: S1-S193.
- Camire ME, Kantor MA. 1999. Dietary supplements: Nutritional and legal considerations. *Food Technol*, 53: 87-96.
- Clydesdale FM. 1999. ILSI North America Technical Committee on Food Components for Health Promotion. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 39: 203-316.
- Código Alimentario Argentino. Capítulo V: Normas para la Rotulación y Publicidad de los Alimentos. Disponible en [www.anmat.gov.ar/codigoa/caa1.htm](http://www.anmat.gov.ar/codigoa/caa1.htm). Consultado 30/07/2008.
- Diplock AT, Aggett PJ, Ashwell M, Bornet F, Fern EB, Roberfroid M. 1999. Scientific concepts of functional foods in Europe: Consensus Document. *Br J Nutr*, 81: S1S27.
- Hartman Interactive Group. 2007, Informe Abril
- International Organization for Standardization (ISO). ISO 9000:2005. Quality management systems – Fundamentals and vocabulary. [www.iso.org/iso/en/commcentre/pressreleases/2005](http://www.iso.org/iso/en/commcentre/pressreleases/2005)
- Jensen JS, Blachez B, Egebo M, Meyer AS. 2007. Rapid extraction of polyphenols from red grapes. *Am J Enol Vitic*, 58: 451-461.
- Jones PJ, Jew S. 2007. Functional food development: concept to reality. *Trends Food Sci Technol*, 18: 387-390.
- Katan MB, De Roos NM. 2003. Public health: toward evidence-based health claims for functional foods. *Science*, 299: 206-207.
- Kleiman E, Moreno C. 2006. Nuevo rotulado de alimentos envasados. Dirección Nacional de Alimentos, Argentina. Disponible en: [www.alimentosargentinos.gov.ar/programas\\_calidad/ETIQUETADO.pdf](http://www.alimentosargentinos.gov.ar/programas_calidad/ETIQUETADO.pdf). Consultado 30/07/2008.
- Milner JA. 2002. Functional foods and health: a US perspective. *Brit J Nutr*, 88 (Suppl): S151-S158.
- Muller A, Steinhart H. 2007. Recent developments in instrumental analysis for food quality. *Food Chem*, 101: 1136 - 1144.
- Olivera Carrión M. 2007. Functional Foods in Argentina. *The World of Food Science*, Institute of Food

- Tecnologists & International Union of Food Science and Technology, pag 1-9. Disponible en: [www.worldfoodscience.org](http://www.worldfoodscience.org). Consultado 30/07/2008.
- Oyarzún MT. 2002. Sellos de calidad en alimentos. En: Conferencia electrónica sobre Certificación de calidad de los alimentos orientada a sellos de atributos de valor en países de América Latina. ECOCERT y FAO, pag 17-26.
- Peri C. 2006. The universe of food quality. *Food Quality and Preference*, 17: 3-8.
- Rabanal MR. 2007. Informe de la Reunión de trabajo "Comunicación Responsable de las Empresas hacia los Consumidores". Comité de Alimentos Funcionales ILSI-Argentina. Disponible en [www.ilsa.org.ar/contactos/alimentosfuncionales.html](http://www.ilsa.org.ar/contactos/alimentosfuncionales.html) Consultado 30/07/2008.
- Ramos E, Romeo J, Wärnberg J, Marcos A. 2007. ¿Más que alimentos? En: Barberá Mateos JM, Marcos A. *Alimentos Funcionales. Aproximación a una Nueva alimentación*. Instituto de Nutrición y Trastornos Alimentarios, Dirección General de Salud Pública y Alimentación, Subdirección General de Alimentos. Comunidad Autónoma de Madrid, pag 30-45. Disponible en [www.publicaciones-isp.org/productos/t065.pdf](http://www.publicaciones-isp.org/productos/t065.pdf) Consultado 30/07/2008.
- Reglamento Sanitario de los Alimentos. Ministerio de Salud, República de Chile. 2005. (DS 977/96), Resolución Exenta N° 556. Normas técnicas para la declaración de propiedades saludables de los alimentos.
- Shahidi F. 2009. Editorial: Launch of Journal of Functional Foods. *J Functional Foods*, 1: 1.
- Shapiro H, Singer P, Halpern Z, Bruck R. 2007. Polyphenols in the treatment of inflammatory bowel disease and acute pancreatitis. *Gut*, 56: 426-436.
- Storlie J, O'Flaherty MJ, Hare K. 1998. Food or supplement? Choosing the appropriate regulatory path. *Food Technol*, 52: 62-69.
- Verhagen H, Coolen S, Duchateau G, Hamer M, Kyle J, Rechner A. 2004. Assessment of the efficacy of functional food ingredients – introducing the concept of "kinetics of biomarkers". *Mutation Res*, 551: 65-78.

## Glosario de abreviaciones utilizadas en el texto

ACE	Enzima convertidora de angiotensina
AF	Alimento(s) funcional(es)
AESA	Agencia Europea de Seguridad Alimentaria
AICR	American Institute for Cancer Research
AG	Acido(s) graso(s)
AOAC	Association of Oficial Analytical Chemists
AR	Almidón resistente
BFY	Better for you
BPA	Buenas Prácticas Agrícolas
BPH	Buenas Prácticas de Higiene
BPM	Buenas Prácticas de Manufactura
CAA	Cómputo aminoacídico
CEE	Comunidad Económica Europea
CHO	Hidratos de carbono
CLA	Acido linoleico conjugado
CMC	Carboximetilcelulosa
CYTED	Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo
DE	Densidad energética
DHA	Acido docosahexaenoico
DMFO	Dried Microencapsulated Fish Oil
DNA	Acido desoxirribonucleico
DOPA	Acido $\beta$ -N-oxalyl-L- $\alpha$ - $\beta$ -diaminopropiónico
ECNT	Enfermedades crónicas no transmisibles
ECV	Enfermedades cardiovasculares
EGCG	Epigallocatequina galato
EPA	Acido eicosapentaenoico
FAD	Fibra ácido detergente
FAO	Food and Agriculture Organization

FD	Fibra dietética
FDA	Food and Drug Administration
FND	Fibra neutro detergente
FOS	Fructo-oligosacáridos
FOSHU	Food for Specified Health Uses
FUFOSE	Functional Food Science in Europe
G %	Calorías grasas
GFSI	Global Food Safety Initiative
GOS	Galacto-oligosacáridos
HACCP	Análisis de Peligros y Puntos Críticos de Control
HMW	Peso molecular alto
HPMC	Hidroxipropilmetilcelulosa
IG	Índice glicémico
IFIC	Centro de Información Internacional de Alimentos
ILSI	International Life Sciences Institute
ISO	International Standard Organization
LAL	Lisinoalanina
LDL	Lipoproteínas de baja densidad
LMW	Peso molecular bajo
MERCOSUR	Mercado Común del Sur
MMW	Peso molecular medio
NPU	Utilización proteica neta
OMS	Organización Mundial de Salud
P %	Calorías proteicas
PDCAAS	Cómputo de aminoácidos corregido por la digestibilidad de la proteína
PER	Razón de eficiencia proteica
PM	Peso molecular
QPM	Maíz de alta calidad proteica
SIDA	Síndrome de inmunodeficiencia adquirida
UPN	Utilización proteica neta
USDA	United States Department of Agriculture
VLDL	Lipoproteínas de muy baja densidad
WHO	World Health Organization



Este libro  
se terminó de imprimir  
en la ciudad de Valparaíso, Chile  
en el mes de marzo  
de 2009