

Propiedades funcionales de la fibra dietética. Mecanismos de acción en el tracto gastrointestinal

Gines López¹, Gaspar Ros², Francisco Rincón³, María Jesús Periago¹, Carmen Martínez¹ y Josefina Ortuño¹

Departamento de Bromatología e Inspección de Alimentos, Facultad de Veterinaria, Universidad de Murcia, España.
Departamento de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Universidad de Córdoba, España.

RESUMEN. Los efectos fisiológicos desarrollados por la fibra dietética (FD) son el resultado de complejos mecanismos de interacción entre los componentes del alimento no digerido por los enzimas digestivos del hombre y las condiciones del entorno gastrointestinal, como el pH, fuerza iónica y la presencia de otras sustancias vehiculadas por el alimento. La naturaleza química y la estructura de la FD son las dos características principales inherentes a la fibra que determinan su comportamiento en la luz intestinal. Este trabajo presenta las principales propiedades funcionales de la FD, y explica como éstas son responsables de los efectos fisiológicos desarrollados por la fibra en el tracto gastrointestinal.

SUMMARY. Functional properties of dietary fiber. Mechanisms of actions in the gastrointestinal tract. Physiological effects of dietary fiber (DF) are the result of complex interacting mechanisms between the components of food which is not digested by the endogenous enzymes of the digestive tract and the conditions of gastrointestinal environment, such as pH, ionic strength and other food components. Chemical nature and structure of each component of DF are two factors that determine their behaviour in lumen intestinal. This article report the main functional properties of DF and explain how these are responsible of physiological effects developed by DF in gastrointestinal tract.

INTRODUCCION

El estudio de la fibra en base a su conocimiento químico o medida cuantitativa tiene un valor limitado, puesto que la acción biológica de la fibra dietética (FD) en el organismo depende de sus propiedades físico-químicas (1-3). Su análisis resulta fundamental para comprender los mecanismos complejos por los que la FD desarrolla sus efectos fisiológicos en el tracto gastrointestinal. De las propiedades físico-químicas de la FD también depende el comportamiento de los alimentos ricos en fibra durante su procesado industrial (4,5).

Químicamente la FD está constituida por hidratos de carbono complejos que no son degradados ni absorbidos en el intestino delgado. Sin embargo, en la pared de la célula vegetal los hidratos de carbono se encuentran asociados a otro tipo de sustancias que comparten la característica común de ser resistentes a los enzimas digestivos del hombre. La acción biológica de la FD por lo tanto, no queda limitada a los hidratos de carbono, sino que debe extenderse al conjunto de la pared celular formada por polisacáridos complejos (celulosa, hemicelulosas y pectina), lignina, polifenoles, almidón resistente a la degradación, proteínas asociadas a la pared celular y algunos minerales (6). La proporción en la que cada uno de ellos forma parte de la pared celular es diferente para cada alimento y de

ella depende el tipo e intensidad de efecto ejercido por la FD en el organismo.

Las propiedades físico-químicas o funcionales de la fibra pueden agruparse en cuatro apartados: (1) propiedades de hidratación (solubilidad, hinchamiento, capacidad de retención y absorción de agua, viscosidad y gelación); (2) capacidad de intercambio catiónico; (3) tamaño de partícula, densidad y características de superficie (porosidad y capacidad de adsorción grasa); y (4) adsorción de moléculas orgánicas.

Propiedades de hidratación: Las propiedades de hidratación dependen en gran medida de la naturaleza físico-química de los constituyentes de la fibra. La solubilidad, hinchamiento, capacidad de retención de agua y viscosidad de la FD en los alimentos están determinadas fundamentalmente por su contenido en pectinas, gomas, mucílagos y hemicelulosas solubles, mientras que la celulosa, hemicelulosas insolubles, lignina y otros componentes relacionados con la fibra tienen una influencia limitada sobre estas propiedades (7-11). Esta diferencia es debida al mayor número de polisacáridos con grupos funcionales libres en los residuos de azúcares (4). Por esta razón, los alimentos ricos en fibra soluble como las frutas y verduras presentan mayor capacidad de hidratación que los cereales (5,12,13). Además de la naturaleza química de la fibra, las propiedades de hidratación también están determinadas por la estructura física de los polisacáridos que la forman (14,15), así como por el tamaño de partícula y peso molecular de los polisacáridos, forma y fuerza iónica, pH, temperatura y tipos de iones presentes en solución (11,12,15-18).

El procesado de los alimentos modifica la textura de los mismos, lo que se traduce en cambios de las propiedades funcionales de la fibra, influyendo de esta manera en su comportamiento cuando se encuentra formando parte de una solución (11). De forma genérica, la reducción del tamaño de partícula se traduce en un aumento de la

1. Investigador colaborador del grupo de investigaciones del Departamento de Bromatología e Inspección de Alimentos. Facultad de Veterinaria. Universidad de Murcia (España).
2. Investigador principal del grupo de investigaciones del Departamento de Bromatología e Inspección de Alimentos. Facultad de Veterinaria. Universidad de Murcia (España).
3. Investigador principal del grupo de investigación del Departamento de Ciencia y Tecnología de los alimentos. Facultad de Veterinaria. Universidad de Córdoba (España).

capacidad de hinchamiento y de retención de agua, debido al incremento del área superficial de las partículas en contacto con el agua (15). Sin embargo, se han descrito casos particulares como el de los polisacáridos de la judía y la zanahoria, en los que una reducción de su tamaño ocasiona una disminución de su viscosidad y grado de polimerización (19). Estas modificaciones debidas al procesado pueden variar los efectos fisiológicos de la fibra (20,21).

Está demostrado que la incorporación de polisacáridos viscosos en la comida, disminuye la glucemia sin que exista un incremento paralelo de la secreción de insulina (22, 23). Los mecanismos por los que la fibra interviene en los procesos de absorción de nutrientes en el tracto gastrointestinal son la prolongación del tiempo de vaciado gástrico y el retardo en la absorción de nutrientes. El primero de ellos se debe al hecho de que las dietas con altos niveles de hidratos de carbono al ser voluminosas, requieren largos tiempos de digestión y de vaciado gástrico (1,2). A su vez, el grado de llenado del estómago actúa como un factor que determina la saciedad y la parada de comer (24). En el segundo mecanismo la FD retrasa la absorción de nutrientes debido a su capacidad para hidratarse, ya que la captación de agua por las fibras da lugar a la formación de un gel matricial viscoso, que enlentece la difusión de los nutrientes desde la luz hasta la superficie de la mucosas intestinal (25-28). Además, los polisacáridos viscosos pueden impedir los movimientos de convección del intestino (por los que los nutrientes por acción de las contracciones intestinales, se acercan al epitelio) y los de difusión a través del epitelio intestinal, retardando la absorción de nutrientes (28). Junto a estos efectos, la fibra puede ocasionar una mezcla inadecuada del contenido intestinal e impedir el acceso de los enzimas digestivos a sus sustratos (1,29), comprobándose que el contenido en fibra del alimento y la rigidez de la pared celular se comportan como factores antinutritivos que reducen la digestibilidad del almidón y las proteínas (30-34).

La viscosidad de un alimento en la luz intestinal está gobernada, de una parte por las características inherentes a la propia naturaleza de las fibras, tales como la presencia de polisacáridos solubles cargados, su peso molecular, número de coloides en solución y su tamaño (1,27,35), y de otra, por las condiciones que se establecen en el medio intestinal durante la digestión, ya que la presencia de otras sustancias cargadas y un bajo pH alteran la estructura del gel formado por los polisacáridos solubles (11,36,37). Las gomas debido a su elevada viscosidad son sustratos que retardan en gran medida la absorción de nutrientes (22). La acción combinada de estos mecanismos posibilita la reducción de los niveles de glucosa postprandial en la sangre, cuya medida se realiza mediante el índice de glucemia, que indica el incremento relativo de los niveles de glucosa en sangre tras las comidas (38).

Una menor absorción de lípidos en el intestino puede estar ocasionada por el incremento de la viscosidad de la FD, de la misma manera que ésta atenúa la absorción de glucosa, además de por una combinación de la unión de esteroides a polisacáridos. Los polisacáridos viscosos pueden interferir en la unión lipasa-grasasales biliares, diluir las lipasas intestinales o reducir su efectividad catalítica (39). Estos efectos combinados disminuyen la reabsorción de lípidos en el ileon, y por tanto su transporte por el conducto torácico (40).

Junto a la viscosidad, la estructura de la fibra es el otro factor que interviene en la disminución de la absorción de nutrientes (41), ya que éstos son atrapados dentro de la estructura física de la fibra. La liberación de nutrientes se incrementa en proporción directa a su concentración dentro de las partículas e inversamente proporcional al

aumento del tamaño de las mismas, comprobándose en estudios «in vitro» que cuando la viscosidad de las soluciones es muy baja, la estructura y forma física de la fibra constituye el factor determinante de la ralentización en la absorción de glucosa (15). La forma física del alimento, es pues una característica de especial importancia para comprender el mecanismo de acción de la fibra en intestino. Esta a su vez, depende de la integridad y grado de madurez de los tejidos, y del efecto del procesado y cocinado en la estructura de la pared celular (2). Finalmente, la capacidad de captación de agua se relaciona con el aumento del volumen fecal y con la posibilidad de ser fermentadas por la microflora bacteriana (4,26).

Capacidad de intercambio catiónico: La reducción de la biodisponibilidad de determinados minerales y electrólitos debido a su adsorción y eliminación por heces, constituye uno de los efectos adversos atribuidos tradicionalmente a la FD (4,42). Los grupos carboxílicos presentes en los ácidos urónicos de los polisacáridos son los principales responsables de estos efectos (43-45). Las pectinas son los polisacáridos con mayor número de grupos carboxílicos, aunque también están presentes en las hemicelulosas y proteínas asociadas a la fibra (46-48). Otros grupos funcionales que participan en la capacidad de intercambio catiónico de la fibra son los grupos hidroxílicos de los polisacáridos neutros y el ácido fítico a través de grupos fosfóricos (49-52). También se ha descrito la unión de determinados minerales a la lignina, compuestos fenólicos y productos de la reacción de Maillard (43,53-54). La capacidad de intercambio catiónico es una medida «in vitro» utilizada para conocer el efecto potencial de la fibra para unir cationes, estando determinada fundamentalmente por el número de grupos carboxílicos libres de los ácidos urónicos (21,55). Las frutas y verduras debido a su alto porcentaje de pectinas presentan mayores valores de capacidad de intercambio catiónico que los cereales (45).

La cantidad de fibra requerida para interferir la absorción mineral es relativamente alta, aunque la popularidad alcanzada por la FD pueden aumentar su consumo con el riesgo consiguiente (56). Sin embargo, este efecto depende del tipo de fibra ingerido por el organismo y las condiciones del entorno gastrointestinal (57), puesto que su posible efecto sobre la biodisponibilidad mineral puede verse atenuado si se tiene en cuenta que la fibra dietética soluble y especialmente las pectinas, son fermentadas en colon, permitiendo la liberación de minerales como el hierro y el calcio (58). La presencia del ácido fítico y su porcentaje en los alimentos se ha descrito como el factor antinutritivo asociado a la fibra dietética más importante en la reducción de la biodisponibilidad mineral (45,49,50,59,60). Existen pocas evidencias de que el consumo moderado de fibra en cantidades iguales o superiores a las dietéticamente recomendadas (más de 20 g/día) (61) interfiera la absorción y biodisponibilidad mineral (62,63), sobre todo debido al elevado aporte de minerales a la dieta de cereales, frutas y verduras (59,64).

Tamaño y estructura de partícula, densidad y características de superficie (porosidad y capacidad de adsorción grasa): Este grupo de propiedades funcionales determinan el comportamiento reológico de la fibra (12,28,37,65-67). A su vez, la capacidad de adsorción grasa es de gran importancia tecnológica, y de ella depende en gran medida la aceptación de la fibra como alimento o ingrediente alimentario (5,68).

Las fibras más porosas permiten una mayor capacidad de retención y absorción de agua (13,66), lo que facilita la penetración de las

bacterias del colon dentro de la matriz de fibra para su degradación (24). La FD es fermentada en el colon por las bacterias pertenecientes a los géneros *Bacteroides*, *Eubacterium*, *Bifidobacterium* y *Peptostreptococcus*. La degradación de los hidratos de carbono no disponibles en intestino delgado es llevada a cabo principalmente por el género *Bacteroides*, dando lugar a la producción de ácidos grasos de cadena corta (propiónico, butírico y acético) y gases (CO₂, H₂, CH₄ y H₂S) (69-71). Dos características inherentes a la naturaleza de las fibras determina su grado de fermentación: la estructura y la naturaleza de los componentes individuales de la fibra. No todos los polisacáridos son degradados de igual forma por la microflora bacteriana del colon. Las fibras solubles son sustratos más adecuados para la fermentación que las fibras insolubles, en las que la penetración de las bacterias no ocurre tan fácilmente, dificultándose su ruptura (24). Pero además de la porosidad, la rigidez de la pared celular es otro factor que diferencia el grado de fermentación de los distintos tipos de fibra (72,73). La pared celular es más fácilmente degradada cuando en ella abunda la presencia de ácido galacturónico y arabinosa. La xilosa y glucosa confieren rigidez a la pared celular, lo que sumado a sus bajas propiedades higroscópicas hacen de las fuentes de fibra ricas en estos polisacáridos, sustratos con escasa capacidad de ser degradados en colon (21,55). el mecanismo íntimo de degradación se produce al unirse el polisacárido a un receptor complejo en la membrana externa de las bacterias, trasladándose al interior del periplasma, donde será degradado por los enzimas bacterianos (70).

La forma física y el tamaño de partícula influyen en el volumen de la masa fecal, disminuyendo éste cuando se reduce el tamaño de partícula (20). De igual manera, se ha comprobado en estudios llevados a cabo en ratas, que estas dos características determinan el grado de fermentación de las fibras (74).

La capacidad de adsorción grasa está relacionada con la composición química, y el tamaño y área superficial de las partículas de fibra. La grasa queda atrapada en la superficie de la fibra principalmente mediante procesos mecánicos (5). Sosulski y Cadden (12) encontraron que son las fuentes ricas en lignina las que poseen una mayor capacidad de absorber grasa. En estudios llevados a cabo sobre purificados de fibra dietética de alcachofa, López y col. (15) han determinado que las fibras insolubles presentan mayores valores de adsorción grasa que las solubles, tanto por su contenido en lignina como por su mayor tamaño de partículas. Sin embargo, a veces puede obtenerse un incremento de la capacidad de adsorción grasa al reducir el tamaño de las partículas (17).

Adsorción de moléculas orgánicas: Esta propiedad se basa en la capacidad que poseen algunos componentes de la fibra para unir determinadas sustancias en el intestino como ácidos y sales biliares, colesterol, drogas, compuestos tóxicos y carcinogénicos (4,75-77). La lignina, pectina y goma guar se han identificado como los componentes de la fibra con mayor capacidad para unir moléculas orgánicas «in vitro» (56,75,78,79).

Basándose en estudios epidemiológicos que relacionaban diferentes tipos de dietas y la incidencia de cáncer de colon, Burkitt (80) sugirió la acción protectora de la fibra dietética frente a este tipo de cáncer. Los datos experimentales obtenidos de estudios «in vitro» y de animales de experimentación, junto con las evidencias epidemiológicas (81), han permitido establecer la teoría por la que un incremento de la fibra dietética supone un mecanismo efectivo de protección frente al cáncer de intestino grueso en el hombre. El estudio con mutágenos experimentales como IQ (3-metilimidazol

[4,5-*f*] quinolina-2-amina), MeIQx (3,8-dimetil-3H-imidazol [4,5-*f*] quinoxalina-2-amina), y las aminas heterocíclicas Trp-P-1 y Glu-P-1, han evidenciado que la unión entre los componentes de la fibra, especialmente lignina, alginatos y pectinas, y dichos mutágenos ocurre mediante procesos de adsorción, estando influenciadas por la cantidad y características hidrofóbicas de la fibra, el pH y la temperatura alcanzada en los ensayos (78,82,83).

Por otra parte, es sabido que la fibra dietética puede unir ácidos biliares, lo que limita su absorción en el intestino delgado, y permite su excreción por heces (77). Debido a esta propiedad, diversos estudios se han centrado en el papel desarrollado por diferentes fuentes de fibra (tanto en su estado natural en los alimentos como en fuentes de fibra aisladas), en la reducción de los niveles de colesterol en sangre, reconociéndose su efecto preventivo frente a diferentes enfermedades cardiovasculares (84-87). Si bien no está enteramente demostrado, la teoría más aceptada para explicar este efecto hipocolesterinémico de la fibra dietética, se basa en el hecho de que los ácidos biliares unidos a la fibra y eliminados por heces, son reemplazados por el organismo mediante la síntesis de nuevos ácidos biliares a partir del colesterol, lo que da lugar a que su tasa en el organismo disminuya (1,2).

El mecanismo por el que la fibra dietética se une a los ácidos biliares e interfiere en su ciclo enterohepático es complejo y depende de las propiedades físico-químicas de la fibra, principalmente del tamaño y área superficial de partícula, estructura celular y grado de ionización (5,88). Mediante las interacciones de la FD con las sales biliares y las modificaciones en formación de las micelas, la fibra consigue alterar el ciclo enterohepático de los ácidos biliares. En el ciego los ácidos biliares son deconjugados formando compuestos menos solubles y con capacidad para adsorberse a la FD a través de uniones hidrofóbicas, incrementándose la pérdida de ácidos biliares por heces (2,77). No obstante, para las pectinas este mecanismo de acción no es posible, ya que tanto éstas como los ácidos biliares se encuentran en forma ionizada en el intestino, lo que da lugar a la repulsión entre ambos debido a sus cargas (40). Sin embargo, la presencia de terminados minerales, permite que dos formas aniónicas como la fibra y los ácidos biliares puedan unirse, fundamentalmente mediante la formación de pectato-cálcico (79). Algunos cereales y verduras como el centeno, trigo, avena, cebolla, repollo y zanahoria, así como polisacáridos aislados (pectinas) han demostrado su posibilidad para unir ácidos y sales biliares en estudios «in vitro» e «in vivo» (75,77,79,89-91). Dicha unión se ha comprobado que es efectiva en presencia de hierro y calcio (75,89). Por otra parte, Zhang y col (90) han detectado variaciones en la excreción fecal de ácidos biliares en hamsters cuando el estado físico de la fibra de la avena está modificada por el calentamiento.

Al incremento de la excreción fecal de los ácidos biliares mediante procesos de adsorción a la FD, se unen los debidos a la interferencia que ocasionan las fibras solubles viscosas en la formación de las micelas, que impiden la absorción de lípidos y la alteración de la síntesis de lipoproteínas (92,93). Además, la fibra dietética soluble mediante su fermentación en el colon da lugar a la producción de ciertos ácidos grasos de cadena corta, entre los cuales el propiónico ha demostrado ser efectivo en la inhibición de la síntesis de colesterol en el hígado (94-96).

Por lo tanto, la ingestión de FD en niveles moderados demuestra ser un medio eficaz para la regulación de los niveles plasmáticos de glucosa, colesterol y triglicéridos, así como un factor preventivo de ciertas enfermedades degenerativas o crónicas (cáncer de colon y recto, arteriosclerosis, diabetes, etc.) muy frecuentes en los países

desarrollados, en los que los cambios en los hábitos alimenticios han supuesto un desplazamiento del consumo de ciertos alimentos ricos en fibra por otros con alto contenido en grasas saturadas y colesterol (97).

REFERENCIAS

1. Eastwood M.A. The physiological effect of dietary fiber: an date. *Annu Rev Nutr* 12:19-35, 1992.
2. Eastwood M.A & Morris E.R. Physical properties of dietary fiber that influence physiological function: a model for polymers along the gastrointestinal tract. *Am J Clin Nutr* 55:436-442, 1992.
3. Cummings J.H. & Englyst H.N. What is the dietary fiber? *Trends Food Sci Technol*, 99-103. Abr 1991.
4. Schneeman B.O. Physical and chemical properties, methods of analysis, and physiological effects. *Food Technol*: 104-110, Febrero 1986.
5. Amado R. Physico-chemical properties related to type dietary fiber. En: *Physicochemical properties of dietary fiber and effect of processing on micronutrients availability*. Amado R, Barry J.L. & Frolich W. (Ed.). Luxemburg p.49-54. 1994.
6. British Nutrition Foundation. Complex carbohydrates in foods. En: *Report of the British Foundation's Task Force*, Chapman and Hall, Londres, 1990.
7. Krumel K.L. & Sarkar N. Flow properties of gums useful to the food industry. *Food Technol*: 36-44, abril 1975.
8. Stauffer K.R. & Anadon S.A. Comparison of the functional properties of two grades of gum tragacanth. *Food Technol* abril: 48-51, 1975.
9. Fiszman S.M. Propiedades funcionales de los hidrocoloides polisacáridos. Mecanismos de gelificación. *Rev Esp Cienc Tecnol Aliment* 29:415-429, 1989.
10. Ma L. & Barbosa-Cánovas G.V. Review: rheological properties of food gums and food gum mixtures. *Rev Esp Cienc Tecnol Aliment* 33:133-163, 1993.
11. Nyman M., Nylander T., Asp N-G. Degradation of water-soluble fiber polysaccharides in carrots after different types of processing. *Food Chem* 47:169-176, 1993.
12. Sosulski F.W. & Cadden A.M. Composition and physiological properties of several sources of dietary fiber. *J Food Sci* 47:1472-1477, 1982.
13. Chen J., Piva M. & Labuza P. Evaluation of water binding capacity (WBC) of food fiber sources. *J Food Sci* 49:59-63, 1984.
14. Roberston J.A. & Eastwood M.A. An examination of factors which may affect the water-holding capacity of dietary fibre. *Br J Nutr* 45:83-88, 1981.
15. López G., Ros G., Rincon F, Periago M.J., Martínez M.C. & Ortuño J. Relationship between physical and hydration properties of soluble and insoluble dietary fiber of artichoke. *J Agric Food Chem*, en prensa, 1996.
16. Parrot M.E. & Thrall B.E. Functional properties of various fibers: physical properties. *J Food Sci* 43:759-763, 1978.
17. Fleury N. & Lahaye M. Chemical and physico-chemical characterisation of fibres from *Laminaria digitata* (Kombu Breton): a physiological approach. *J Sci Food Agric* 55:389-400, 1991.
18. Stevenson A., Buchanan C.J. & Eastwood M.A. Does the method of drying a hydrated non-starch polysaccharides affect in vitro analyses to predict physiological function? *J Sci Food Agric* 66:111-116, 1995.
19. Svanberg M., Gustafsson K., Suoetti T. & Nyman M. Effects of processing on physico-chemical properties of dietary fibre in vegetables. En: *Physico-chemical properties of dietary fiber and effect of processing on micronutrients availability*. Amado R., Barry J-L & Frolich W (Ed). Luxembourg p.43-45. 1994.
20. Cadden A.M. Effects of particle size and breadmaking on physiological responses of meal-fed rats to AACCC wheat bran. *J Food Sci* 51:188-192, 1986.
21. Guillon F., Barry J-L. & Thibault J-F. Effect of autoclaving sugar-beet fibre on its physico-chemical properties and its in vitro degradation by human faecal bacteria. *J Sci Food Agric* 60:69-79, 1992.
22. Jenkins DJA, Wolever TMS, Kockaday TDR, Leeds A.R., Howarth R., Bacon S., Apling E.C. & Dilawari J. Treatment of diabetes with guar gum: reduction of urinary glucose loss in diabetics. *Lancet* 2:779-780, 1977.
23. Anderson J.W. Dietary fiber and nutrition management of diabetes mellitus. *Kellogg's International Symposium on Dietary fiber*. Proceedings. SC Chen (Ed). Center for Academic Publications, Tokyo p.59-68. 1989.
24. Schneeman B.O. Soluble vs. insoluble fiber. Different physiological responses. *Food Technol* 81-82, Febrero 1987.
25. Blackburn N.A., Redfern J.S., Jarjis H., Holgate A.M., Hanning I., Scarpello JHB, Johnson I.T. & Read N.W. The mechanism of action of guar gum in improving glucose tolerance in man. *Clin Sci* 66:329-336, 1984.
26. Eastwood M.A. What does the measurement of dietary fibre mean? *Lancet* 1487, Junio 1986.
27. Wood P.J, Braaten J.T., Scott F.W, Riedel & Poste L.M. Comparisons of viscous properties of oat and guar gum and the effects of these and oat bran on glycemic index. *J Agric Food Chem* 38:753-757, 1990.
28. Eastwood M.A. Physico-chemical properties of dietary fibre in the foregut. En: *Dietary fibre, mechanisms of action in human physiology and metabolism*. C. Cherbut, J.L. Barry, Larion D., Durand M. (Ed). Hohn Libbey Eurotex (Paris), p.17-28. 1995.
29. Ink S.L. & Hurt D. Nutritional implications off gums. *Food Technol*: 77-82. Enero 1987.
30. Socorro M., Levy-Benshimol A. & Tovar J. *In vitro* digestibility of cereal and legume (*Phaseolus vulgaris*) starches by bovine, porcine and human pancreatic α -amylases. *Starch/Stärke* 41:69-71, 1989.
31. Tovar J., Björck & Asp N-G. Starch content and α -amylolysis rate in precooked legume flours. *J Agric Food Chem* 38:1818-1823, 1990.
32. Tovar J., Granfeldt Y. & Björck I. Effect of processing on blood glucose and insulin responses to starch in legumes. *J Agric Food Chem* 40:1846-1851, 1992.
33. Gaudard-de Weck D., Hischenhuber C. & Kruseman J. Protéins - définition, aspects nutritionnels et méthodes d'évaluation: un article de revue. *Traw Chim Aliment Hyg* 85:317-39, 1994.
34. Melito C. & Tovar J. Cell walls limit in vitro protein digestibility in processed legume seed. *Food Chem* 53:305-307, 1995.
35. Rainbird A.L., Low A.G. & Zebrowska T. Effect of guar on glucose and water absorption from isolated loops of jejunum in conscious growing pig. *Br J Nutr* 52:489-498, 1984.
36. Isaksson G., Lundquist I. & Ihse I. Effect of dietary fiber on pancreatic enzyme activity in vitro. The importance of viscosity, pH, ionic strength, adsorption and time of incubation. *Gastroenterology* 82:918-924, 1982.
37. Auffret A., Ralet M-C, Guillon F., Barry J.L. & Thibault J.F. Effect of grinding and experimental conditions on the measurement of hydration properties of dietary fibres. *Lebensm Wiss Technol* 27:166-172, 1994.
38. Jenkins DJA., Wolever TMS. & Jenkins AL. Starchy foods and glycemic index. *Diabetes Care* 11:149-159, 1988.
39. Hendrick J.A., Tadokoro T., Emenhiser C., Nienaber U. & Fennema O.R. Various dietary fiber have different effects on lipase-catalyzed hydrolysis of tributyrin invitro. *J Nutr* 122:269-277, 1992.
40. Topping D.L. Soluble fiber polysaccharides: effects on plasma cholesterol and colonic fermentation. *Nutrition Reviews* 49:195-203, 1991.
41. Haber G.B., Heaton K.W., Murphy D. & Burroughs L.F. Depletion and disruption of dietary fibre: effect on satiety, plasma glucose and serum insulin. *Lancet* 2:679-682, 1977.
42. Periago M.J., Ros G., López G., Martínez M.C. & Rincón F. Componentes de la fibra dietética y sus efectos fisiológicos. *Rev Esp Cienc Tecnol Aliment* 33:229-246, 1993.
43. Platt S.R. & Clydesdale F.M. Mineral binding characteristics of lignin, guar gum, cellulose, pectin and neutral detergent fiber under simulated duodenal pH conditions. *J Food Sci* 52:1414-1419, 1987.
44. Kohn R. Binding of divalent cations to oligomeric fragments of pectin. *Carbohydr Res* 160:343-353, 1987.
45. Torre M., Rodríguez A.R., Saura-Calixto F. Effects of dietary fiber and phytic acid on mineral availability. *CRC Crit Rev Food Sci Nutr* 30:1-22, 1991.
46. Selvendran R.R. Developments in the chemistry and biochemistry of pectic and hemicellulosic polymers. *J Cell Sci (suplemento)* 2:51-58, 1985.
47. Heredia A., Guillén R., Jiménez A. & Fernández-Bolaños J. Review: Plant cell wall structure. *Rev Esp Cienc Tecnol Aliment* 33:113-131, 1993.

48. McDougall G.J., Morrison I.M., Stewart D., Weyers J.D. & Hillman J.R. Plant fibres: botany, chemistry and processing for industrial use. *J Sci Food Agric* 62:1-20, 1993.
49. Frolich W., Schweizer & Asp N-G. Minerals and phytate in the analysis of dietary fiber from cereals. II. *Cereal Chem* 61:357-359, 1984.
50. Champagne E.T., Rao R.M., Liuzzo J.A., Robinson J.W., Gale R.J. & Miller F. The interactions of minerals, proteins, and phytic acid in rice bran. *Cereal Chem* 62:231-238, 1985.
51. Frolich W. & Asp N-G. Minerals and phytate in the analysis of dietary fiber from cereals. III. *Cereal Chem* 62:238-242, 1985.
52. Frolich W. & Myman M. Minerals, phytate and dietary fibre in different fractions of oat-grain. *J Cereal Sci* 7:73-82, 1988.
53. Lee K. & García-López J.S. Iron, zinc, copper and magnesium binding by cooked pinto bean (*Phaseolus vulgaris*) neutral and acid detergent fiber. *J Food Sci* 50:651-653, 1985.
54. Torre M., Rodríguez A.R., Saura-Calixto F. Study of interactions of calcium ions with lignin, cellulose, and pectin. *J Agric Food Chem* 40:1762-1766, 1992.
55. Guillon F., Renard C., Hospers J., Thibault J-F. & Barry J-L. Characterisation of residual fibres from fermentation of pea and apple fibres by human faecal bacteria. *J Sci Food Agric* 68:521-529, 1995.
56. Gillis ADH & LeBlanc E.L. Dietary fiber issues for the practitioner. *J Can Diet Assoc* 52:40-44, 1991.
57. Laszlo J.A. Mineral binding properties of soy hull. Modelling mineral interactions with an insoluble dietary fiber sources. *J Agric Food Chem* 35:732-741, 1987.
58. Klopfenstein C.F. Nutritional properties of coarse and fine sugar beet fiber and hard red wheat bran II. Effects on calcium and iron utilization. *Cereal Chem* 67:542-544, 1990.
59. Harland B.F. Dietary fibre and mineral bioavailability. *Nutr Res Rev* 2:133-147, 1985.
60. Martínez M.C., Ros G., Periago M.J., López G., Ortuño J. & Rincón F. El papel del ácido fólico en la alimentación humana. *Food Sci Tech Inter* 2:201-209, 1996.
61. Prosky L. & Devries J.W. Controlling dietary fiber in food products. Nueva York, Ed Van Nostrand Reinhold p.37-46, 1992.
62. Walker A.R.P. Dietary fibre and mineral metabolism. *Molec Aspects Med* 9:69-87, 1987.
63. Herman J.R., Hanson C.F. & Kopel B.H. Fiber intake of older adults: relationship to mineral intake. *J Nutr Elderly* 11:21-33, 1992.
64. Belitz H.D. & Grosch W. Química de los alimentos. Zaragoza, Ed. Acribia, p.341-347, 1984.
65. Heller S.N., River J.M. & Kackler L.R. Dietary fiber: the effect of particle size and pH on its measurement. *J Food Sci* 42:436-439, 1977.
66. Cadee A.M. Comparative effects of particle size reduction on physical structure and water binding properties of several plant fibers. *J Food Sci* 52:1595-1599, 1987.
67. Sowbhagya C.M., Ramesh B.S. & Zakiuddin Ali S. Hydration, swelling and solubility behaviour of rice in relation to other physicochemical properties. *J. Sci Food Agric* 64:1-7, 1994.
68. Aravantis-Zafiridis G., Oreopoulou V., Tzia C. & Thomopoulos D.C. Fibre fraction from orange peel residues after pectin extraction. *Lebensm Wiss Technol* 27:166-172, 1994.
69. Royall D., Wolever T.M.S & Jeejeebhoy K.N. Clinical significance of colonic fermentation. *Am J Gastroenterol* 85:1307-1312, 1990.
70. Sayer A.A. Fermentation of polysaccharides by human colonic anaerobes. En: Dietary fibre, mechanisms of action in human physiology and metabolism. C Cherbut, Barry JL, Lairon D., Durand M. (Ed). John Libbey Eurotext (Paris), p.29-35, 1995.
71. Mortensen P.B. & Nordgaard. The production of short-chain fatty acids in the human colon. En: Dietary fibre, mechanisms of action in human physiology and metabolism. C Cherbut, Barry J.L., Lairon D., Durand M. (Ed), John Libbey Eurotext (Paris) p.37-50, 1995.
72. Cummings J.H. & Macfarlane G.T. The control and consequences of bacterial fermentation in the human colon. *J Appl Bacteriol* 70:443-459, 1991.
73. Mongeau R., Yiu S.H. & Brassard R. Chemical and fluorescence microscopic analysis of fiber degradation of oat, hard red spring wheat, and corn bran in rats. *J Agric Food Chem* 39:1966-1971, 1991.
74. Mongeau R. & Brassard R. Dietary fiber and faecal characteristics in rats: effects of level and particle size of bran. *J Food* 50:654-656, 1985.
75. Story J.A., White A. & West L.G. Adsorption of bile acids by components of alfalfa and wheat bran in vitro. *J Food Sci* 47:1276-1279, 1982.
76. Ide T., Horri M., Yamamoto T. & Kawashima K. Contrasting effect of water-soluble and water-insoluble dietary fibers on bile acid conjugation and taurine metabolism in the rat. *Lipids* 25:335-340, 1990.
77. Zhang J.X., Lundin E., Hallmans G., Adlercreutz H., Anderson H., Bosaeus I., Aman P., Stenling R. & Dahlgren S. Effect of rye bran excretion of bile acids, cholesterol, nitrogen, and fat in human subjects with ileostomies. *Am J Clin Nutr* 59:389-394, 1994.
78. Nishiyama C., Nagai T. & Yano T. Adsorption of mutagens in distilled by dietary fiber. *Agric Biol Chem* 55:797-802, 1991.
79. Pandolf T. & Clydesdale M. Dietary fiber binding of bile acid through mineral supplementation. *J Food Sci* 57:1242-1245, 1992.
80. Burkitt D.P. Related disease-related cause? *Lancet* ii:1229-1231, 1969.
81. Potter J.D., Slattery M.L., Bostick R.M. & Gapstur S.M. Colon cancer: a review of the epidemiology. *Epidemiologic Reviews* 15:499-545, 1993.
82. Sjödin P.B., Nyman M.E., Nilsson L., Asp N.G. & Jägerstad M.I. Binding of ¹⁴C-labeled food mutagens (IQ, MeIQ, MeIQx) by dietary fiber in vitro. *J Food Sci* 50:1680-1684, 1985.
83. Vikse R., Bålsrud Mjelva B. & Klungsoyr L. Reversible binding of the cooked food mutagen MeIQx to lignin-enriched preparations from wheat bran. *Fd Chem Toxic* 30:239-246, 1992.
84. Kies C. & Fox M. Dietary hemicellulose interactions influencing serum lipid patterns and protein nutritional status of adult men. *J Food Sci* 42:440-443, 1977.
85. Newman R.T., Lewis S.E., Newman C.W., Boik R.J. & Ramage R.T. Hypocholesterolemic effect of barley food on healthy man. *Nutr Rep Int* 39:749-757, 1989.
86. Shinnick F.L., Mathews R. & Ink S. Serum cholesterol reduction by oats and other fiber sources. *Cereal Foods World* 36:815-821, 1991.
87. Anderson J.W., Garrity T.F., Wood C.L. Whitis S.E., Smith B.M. & Oeltgen P.R. Prospective, randomized, controlled comparison of the effects of low-fat plus high-fiber diets on serum lipid concentrations. *Am J Clin Nutr* 56:887-894, 1992.
88. Sumano M., Ikeda I. & Imaizumi K. Dietary fiber and lipid absorption. Kellogg's International Symposium on Dietary fiber. Proceedings. SC Chen (Ed). Centre for Academic Publications, Tokyo p.30-48, 1989.
89. Hoagland P.D. Binding of dietary anions to vegetable fiber. *J Agric Food Chem* 37:1343-1347, 1989.
90. Zhang J-X, Hallmans G., Adlercreutz H., Aman P., Westerlund E., Lundin E. & Stenling R. Effects of oat and rye fractions on biliary and faecal bile acid profiles in Syrian golden hamsters (*Mesocricetus auratus*). *Br J Nutr* 70:525-536, 1993.
91. Zhang J.X., Lundin E., Reuterving C.O. Hallmans G., Stenling R., Westerlund E. & Aman P. Effects of rye bran, oat bran and soya-bean fibre on bile composition, gallstone formation, gall-bladder morphology and serum cholesterol in Syrian golden hamster (*Mesocricetus auratus*). *Br J Nutr* 71:861-870, 1994.
92. Glore S.R., Van Treeck D., Knehans A.W. & Guild M. Soluble fiber and serum lipids: a literature review. *J Am Diet Assoc* 94:425-436, 1994.
93. Wolever T.M.S. Dietary fibre and lipid metabolism in human. En: Dietary fibre, mechanisms of action in human physiology and metabolism. Cherbut C., Barry J.L., Lairon D., Durand M. (Ed). John Libbey Eurotext (Paris), p.69-81, 1995.
94. Cummings J.H. & Englyst H.N. Fermentation in human large intestine and the available substrates. *Am J Clin Nutr* 45:1243-1255, 1987.
95. Venter C.S., Vorster H.H. & Cummings H. Effects of dietary propionate on carbohydrate and lipid metabolism in man. *Am J Gastroenterol* 85:549-553, 1990.
96. T. Yodisco T., Rao A.V., Bosello O. & Jenkins D.J.A. Propionate lowers blood glucose and alters lipid metabolism in healthy subjects. *Am J Clin Nutr* 54:860-865, 1991.
97. Wolever T.M.S, Jenkins A.L., Spadafora P.J. & Jenkins D.J.A. Grains, legumes, fruits, and vegetables: lente carbohydrates sources in the Mediterranean Diet. En: The mediterranean diets in health disease. GA Spiller (Ed). Van Nostrand Reinhold, Nueva York p.160-181, 1991.

Recibido: 28-01-1997

Aceptado: 21-05-1997