

M. D. del Castillo Bilbao, Miryam Amigo-Benavent y José Manuel Silván Jiménez.

Instituto de Fermentaciones Industriales (CSIC)

C/Juan de la Cierva 3, 28006, Madrid (España); www.ifi.csic.es

Tel: 91 562 29 00; fax: 91 564 48 53; delcastillo@ifi.csic.es

1. Introducción

La soja (*Glycine max*) es una de las fuentes naturales más importantes de ingredientes funcionales. A esta legumbre se le atribuyen diversas propiedades beneficiosas para la salud. La soja ha sido el primer alimento al que la FDA (Food and Drug Administration) de EE.UU ha permitido aplicar una alegación sanitaria (FDA, 1999), que es también aceptada por la Joint Health Claims Initiative (JHCI) del Reino Unido (<http://jhci.org.uk/approv/schol2.htm>). La Unión Europea autoriza el empleo de los preparados de proteínas de soja como ingredientes alimentarios (Singh y col., 2008). En este apartado abordaremos los principales constituyentes bioactivos de la soja y sus aplicaciones en la formulación de alimentos funcionales lácteos y/o de tipo lácteo.

2. Componentes de la soja con propiedades beneficiosas para la salud

La composición de la semilla de soja varía en función de la variedad y las condiciones de cultivo. Típicamente, las semillas de soja están constituidas por 35-40% de proteínas, 15-20% de grasas, 30% de carbohidratos, entre 10 y 13% de humedad y alrededor del 5% de minerales y cenizas (http://www.asaim-europe.org/SoyInfo/composition_e.htm). La soja no contiene colesterol ni lactosa y entre sus componentes minoritarios destacan minerales, vitaminas, inhibidores de proteasas, compuestos fenólicos incluyendo isoflavonas, saponinas, fitatos, etc.

biológicamente activos a los que se les atribuyen propiedades beneficiosas para la salud.

2.1. Proteínas

Las proteínas son el componente más abundante de la soja de las cuales entre el 80 - 90% son proteínas de reserva. Las proteínas de soja se pueden además clasificar en función de sus coeficientes de sedimentación en gradiente de sacarosa. De acuerdo con esta metodología la fracción de proteínas de soja tiene cuatro componentes fundamentales 15S, 11S, 7S y 2S. Las fracciones 11S (rica en glicinina), 7S (compuesta por β -conglucina y γ -conglucina) y 2S (proteínas inhibidoras de la tripsina) constituyen la mayor parte de las proteínas de reserva (>85%) (Liu, 1997).

Se estima que cada año se encuentran disponibles para el consumo aproximadamente 63,6 millones métricos de proteínas de soja. Desde los años sesenta los productos a base de proteína de soja se vienen consumiendo como ingredientes nutritivos y funcionales (Singh y col., 2008). La composición de los diferentes formatos de las preparaciones de proteínas de soja que en la actualidad se encuentran comercialmente disponibles para su empleo como suplementos o fuentes de proteínas en alimentos se muestra en la Tabla 1. Estas preparaciones comerciales de proteínas de soja se obtienen principalmente a partir de soja desengrasada como se deduce de la información que se provee a continuación.

Las proteínas de soja constituyen las proteínas no lácteas que en mayor medida han demostrado su actividad biológica tanto en ensayos *in vitro*, *in vivo* y clínicos (Recio y López Fandiño, 2005). El consumo de proteínas de soja puede proporcionar efectos beneficiosos para la salud humana (Augustin y Muñoz, 2006; Singh y col., 2008; Azadhakht y Esmailzadeh, 2008), tales como disminución de la tensión arterial (Kitts y Weiller, 2003), reducción del riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares (Appel, 2003), prevención a sufrir ciertos tipos de cáncer (Messina y

Flickinger, 2002), prevención frente a la osteoporosis (Messina y col., 2004; Zhang y col., 2005), reducción de los niveles de colesterol en sangre (Sirtori y col., 1995, 1998; Torres y col., 2006) o reducción de los síntomas de la menopausia (Dalais y col, 1998, Kotsopoulos y col., 2002). Los resultados relativos a la efectividad de las proteínas de soja en la obesidad son controvertidos (Azadbakht y Esmailzadeh, 2008). El consumo de soja ha demostrado tener efectos beneficiosos en síndromes metabólicos tanto en modelos animales como en humanos. El papel beneficioso del consumo de soja en diabéticos es otro motivo que justifica su inclusión en la dieta diaria (Azadbakht y Esmailzadeh, 2008). Estudios recientes empleando cerdos como modelo animal sugieren que un alto consumo de proteína de soja puede reducir la sensación de hambre, disminuir el consumo de alimentos y reducir los depósitos de grasa y en consecuencia mejorar la sensibilidad a la insulina (Dunshen y Cox, 2008).

Tabla 1. Composición aproximada de los preparados comerciales de proteínas obtenidos a partir de soja desengrasada y que comúnmente se emplean en la industria de los alimentos. Los datos están expresados como porcentaje de materia seca.

Productos	Proteínas	Carbohidratos	Fibra	Grasas	Cenizas
Harina de soja desengrasada	45-50	35-40	17-20	0,5-1,5	5,4-6,5
Concentrado de proteínas de soja	55-65	25-30	5-10	0,1-0,5	4,0-5,0
Aislado de proteínas de soja	> 90	3-4	<5	0,53-4,0	3,0-4,0

Fuente: USDA National Nutrient Database for Standard Reference (<http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search>).

Se desconoce la contribución individual de las proteínas e isoflavonas de soja presentes en mezclas complejas, tales como los alimentos a base de esta legumbre o preparados comerciales enriquecidos en isoflavonas y proteínas, en la protección

frente a enfermedades cardiovasculares, cáncer y osteoporosis. Se especula que estos compuestos tienen una acción sinérgica. Las isoflavonas se encuentran de manera natural adheridas a las proteínas; por lo que generalmente, los estudios de bioactividad de estos compuestos se realizan con preparaciones en las que ambos están presentes en distintas proporciones. Los aislados de proteínas de soja, que es la preparación de proteínas más pura que se comercializa en la actualidad, se consideran una fracción rica en isoflavonas (50 mg/ 25 g de producto). Sin embargo, existen evidencias científicas que apoyan el papel de las fracciones de proteínas y péptidos de soja en la prevención de estas patologías (Omomi y Aluko, 2005). Así, la fracción 7S globulina de soja y péptidos sintéticos que contienen secuencias específicas de esta proteína han demostrado ser efectivos en la reducción de la concentración de colesterol plasmático en ratas (Sirtori y col, 1993; Lovati y col., 2000; Adams y col., 2004; Duranti y col., 2004). Los hallazgos derivados de los estudios realizados hasta la fecha indican que la fracción 7S globulina de soja estimula la expresión de receptores de las LDL y la degradación de LDL en cultivos de hepatocitos. Los datos obtenidos apoyan la hipótesis de que la digestión de estas proteínas resulta en la formación de péptidos bioactivos, que pueden ser absorbidos en el intestino delgado y tener efectos beneficiosos en el metabolismo de las lipoproteínas, y la salud cardiovascular mediante la regulación de la actividad de los receptores hepáticos de LDL. Estudios realizados empleando 7S globulina de soja sometida a extracción alcohólica, con objeto de eliminar las isoflavonas adheridas de forma natural al esqueleto de la proteína, condujeron a resultados similares sugiriendo que las moléculas activas son las proteínas y no las isoflavonas solubles en alcohol.

La 7S globulina o β -conglucina es una glicoproteína compuesta por un trímero de masa molecular de entre 150 y 210 kDa cuya estructura tridimensional se muestra en la Figura 1. Los resultados relativos acerca del papel de los residuos de

carbohidratos estructurales de esta proteína en su función biológica son escasos y controvertidos (Fu y col., 2007; Adams y col., 2008). En la actualidad la β -conglucina de soja aislada se comercializa (http://www.fujioil.co.jp/fujioil_e/index.html) como ingrediente funcional en Japón.

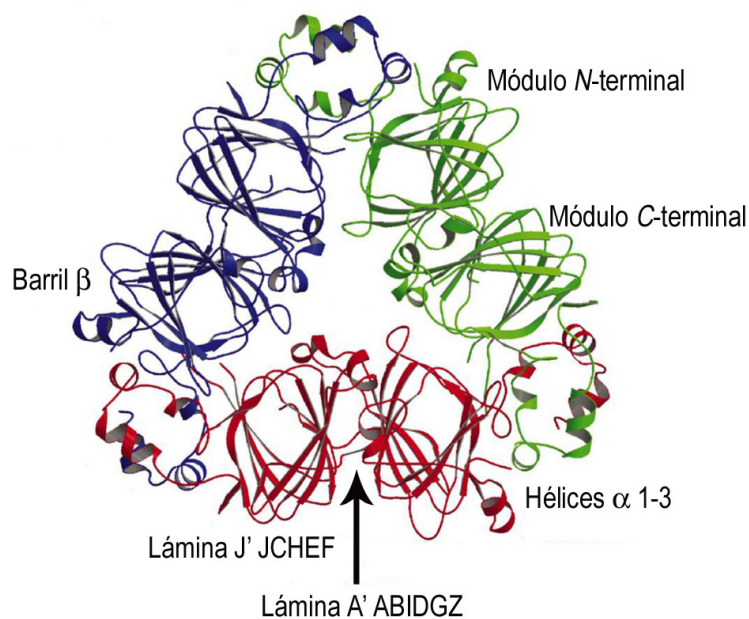


Figura 1. Estructura tridimensional de un homotrímero de β -conglucina. Tomado de Maruyama y col. (2004).

Existen evidencias científicas que indican que péptidos y aislados de proteínas de soja libres de isoflavonas tienen propiedades antioxidantes (Takenaka y col., 2003) y efectos protectores contra el cáncer (Azuma y col., 2000). En este sentido, se ha sugerido que fracciones de proteínas de soja de elevado peso molecular obtenidas por tratamiento con proteasas podrían emplearse como ingrediente funcional en la prevención de la actividad tumoral de los ácidos biliares en hígado y colon.

Desde el punto de vista nutricional las proteínas de soja presentan factores que actúan como antinutrientes, tales como los inhibidores de proteasas, debido al efecto

inhibitorio que ejercen sobre la tripsina y la quimiotripsina durante la digestión proteica en condiciones fisiológicas. Por lo tanto, las preparaciones de proteínas de soja se someten a tratamientos térmicos de distinta intensidad encaminados a inactivar estos inhibidores. El más estudiado de los inhibidores de proteasas de soja ha sido el inhibidor de Bowman Birk (BBI). Recientemente (Augustin y Muñoz, 2006; Losso, 2008), se ha propuesto el término de “ingrediente funcional” para las proteínas BBI de soja cuya estructura se muestra en la Figura 2. Estas proteínas se consumen como parte de la dieta y han demostrado su eficacia como agente anticancerígeno en numerosos ensayos *in vitro*, modelos animales y estudios clínicos en humanos. Existen además evidencias que indican la potencialidad de las proteínas BBI en la prevención de enfermedades neurodegenerativas (Gran y col., 2006; Wang y col., 2008), artritis reumatoide, colitis ulcerosa y su efecto protector frente a las radiaciones que se emplean en la terapia del cáncer (Augustin y Muñoz, 2006).

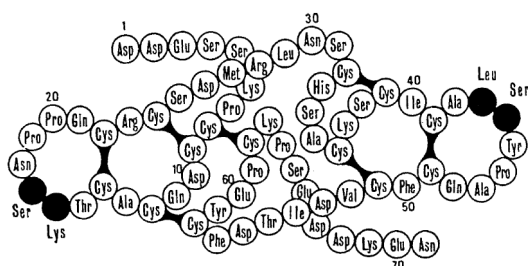


Figura 2. Estructura de las proteínas BBI de soja. Destacados en negro se representan los enlaces disulfuro que estabilizan la estructura y los aminoácidos que conforman los sitios de enlace de las proteasas tripsina y quimiotripsina.

De entre todas las actividades biológicas que se atribuye a la fracción proteica de la soja hasta la fecha sólo existe alegación sanitaria en relación a su efecto sobre lípidos séricos. En consecuencia, la alegación sanitaria autorizada por la FDA en alimentos que contienen como mínimo 6,25 g de proteína de soja, por ración servida es como sigue: “las proteínas de soja, conjuntamente con una dieta pobre en grasa y en colesterol, puede disminuir el riesgo de padecer enfermedad coronaria”. Esta alegación es similar a la aceptada por la JHCI (<http://jhci.org.uk/approv/schol2.htm>). La

autorización de esta alegación sanitaria ha tenido consecuencias muy importantes en el consumo y desarrollo de nuevos productos, en el comercio y en la investigación de los efectos de la soja en la salud (Aldeguer y Alejandre, 2007).

2.2. Compuestos fitoquímicos: Isoflavonas

El término *fitoquímicos* se emplea para describir una clase de compuestos químicos de origen vegetal con efecto en los organismos animales y humanos. La soja presenta varios compuestos fitoquímicos de los cuales el más destacable son las isoflavonas. Las isoflavonas son los flavonoides más abundantes y de mayor interés terapéutico de la soja. Las isoflavonas presentes de forma natural en la soja y en los alimentos no fermentados a base de soja se encuentran en su forma glicosilada siendo mayoritarias la genistina y daidzina (Figura 3, Tabla 2). Las formas glicosiladas son biológicamente inactivas. La conversión de las isoflavonas inactivas en activas tiene lugar *in vivo* por actividad de glicosidasas de las microflora intestinal. Por lo tanto, la biodisponibilidad de estos compuestos depende de su contenido en la dieta y la actividad de la microflora intestinal. Las isoflavonas parecen ser el componente bioactivo de la soja con mayor espectro de beneficios para la salud. La genisteína se cree que es la isoflavona con mayor actividad biológica de las que componen la soja. En alimentos fermentados las isoflavonas están presentes en su forma desglicosilada también denominadas agliconas (daidzeína y genisteína) (Rowland y col., 2003).

La soja es el único alimento que contiene isoflavonas en cantidades fisiológicamente relevantes. Factores tales como la variedad y las condiciones de cultivo determinan en última instancia la concentración de estos compuestos nutritivos bioactivos de soja y sus derivados. Los alimentos derivados de la soja contienen entre 0,2 y 3 mg isoflavona/g de producto (Riaz, 2006). La Tabla 2 muestra el contenido medio de las isoflavonas mayoritarias presentes en soja y sus derivados.

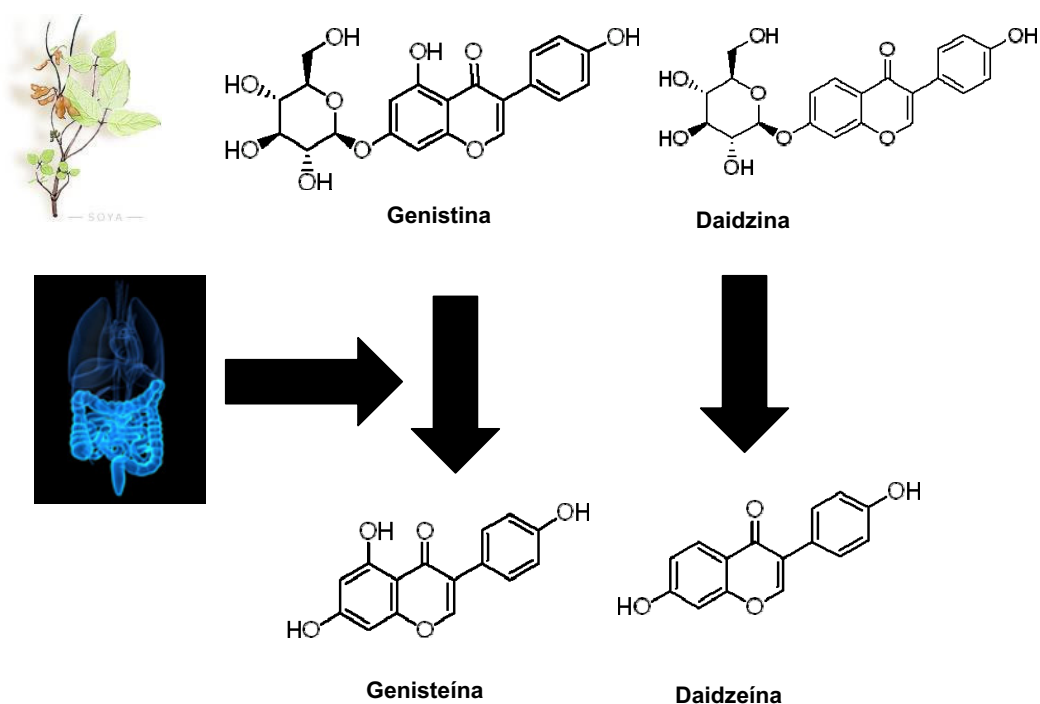


Figura 3. Principales isoflavonas de la soja. Formas glicosiladas biológicamente inactivas (parte superior) y formas desglicosiladas bioactivas (parte inferior).

En la base de datos consultada los resultados se expresan como el peso de la aglicona en 100 g de producto. El peso de la aglicona es aproximadamente el 60% de la forma glicosilada, por tanto, a menos que se mencione específicamente 100 mg de isoflavona pueden referirse a entre 60 y 100 mg de molécula activa. Para evitar confusiones en la Tabla 2 se hace uso del peso referido a la aglicona.

Las isoflavonas son también consideradas fitoestrogénos, o estrógenos vegetales, dada la similitud estructural y funcional que presentan con los estrógenos humanos. Los efectos estrogénicos de las isoflavonas de soja son de menor intensidad (~10000 veces) que los inducidos por las propias hormonas humanas. Las isoflavonas de soja ejercen un efecto tanto estrogénico como anti-estrogénico dependiendo del tejido en que actúan. Estos compuestos bioactivos también pueden

reducir el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares y actuar como antioxidante e inhibidor de enzimas celulares de gran importancia funcional tales como tirosina quinasa, entre otros efectos beneficiosos para la salud. El mecanismo de acción de la genisteína en la prevención de patologías como el cáncer aún es parcialmente desconocido y se cree que tiene lugar por diferentes vías, entre las que se incluyen la inhibición de la actividad de enzimas que intervienen en el desarrollo de la patología, bloqueo de la actividad hormonal e intervención en procesos celulares mediante los cuales las células cancerosas incorporan nutrientes y enzimas (Singh y col., 2008).

Tabla 2. Contenido en isoflavonas en la soja y sus derivados comúnmente empleados como ingredientes funcionales. Los datos se expresan como mg (peso de la aglicona)/ 100 g de producto. Los números de referencia se corresponden con los asignados a estos productos en la base de datos consultada.

Alimento (Referencia)	Contenido isoflavonas (mg/100g producto)			
	Genisteína	Daidzeína	Gliciteína	Total
Soja cruda comercial (99091)	91,71	52,20	12,07	153,40
Harina de soja desengrasada (16117)	71,21	57,47	7,55	131,19
Concentrado de soja (99060)	55,59	43,04	5,16	102,07
Aislado proteico de soja (16122)	59,62	33,59	9,47	97,43

Fuente: U.S. Department of Agriculture, Washington, D.C.
(<http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/Data/isoflav/isoflav.html>)

Los concentrados de isoflavonas que se emplean para suplementar alimentos pueden obtenerse por extracción química como un sub-producto de la elaboración de concentrados y aislados de proteínas de soja y por extracción mecánica. Éstos se encuentran disponibles en tres formatos fundamentales (granulados, harina y polvo fino) y se adicionan a alimentos diversos. Los concentrados obtenidos por extracción química y mecánica presentan distinta composición cuantitativa. El germen de soja contiene 5 ó 6 veces más isoflavonas que el resto del grano y además contiene otros

componentes bioactivos entre los que se incluyen proteínas, ácidos grasos esenciales ω -3 y ω -6, lecitina, vitamina E y saponinas (Riaz, 2006).

2.3. Carbohidratos prebióticos y fibra

Los carbohidratos son el segundo compuesto más abundante de la soja lo que indica que tiene un importante valor económico para la industria de los alimentos. Los granos de soja contienen una mezcla de carbohidratos solubles e insolubles (fibra dietética) que representan aproximadamente el 30% de su contenido total.

La fracción de carbohidratos solubles está constituida por sacarosa y oligosacáridos que representan alrededor del 10% de los componentes de la soja. Los oligosacáridos de la soja, rafinosa (α -D-galactosa (1-6)- α -D-glucosa (1-2)- β -D-fructosa) y estaquiosa (α -D-galactosa (1-6)- α -D-galactosa- (1-6)- α -D-glucosa (1-2)- β -D-fructosa) son resistentes a la digestión debido a los enlaces α -galactósidos que conforman su estructura (Figura 4). El contenido de rafinosa y estaquiosa en semillas maduras de soja es del orden de 2,5-8,2 % y 1,4-4,5%, respectivamente. Los niveles de los oligosacáridos de la soja varían en función de la variedad y las condiciones agronómicas (Bainy y col., 2008).

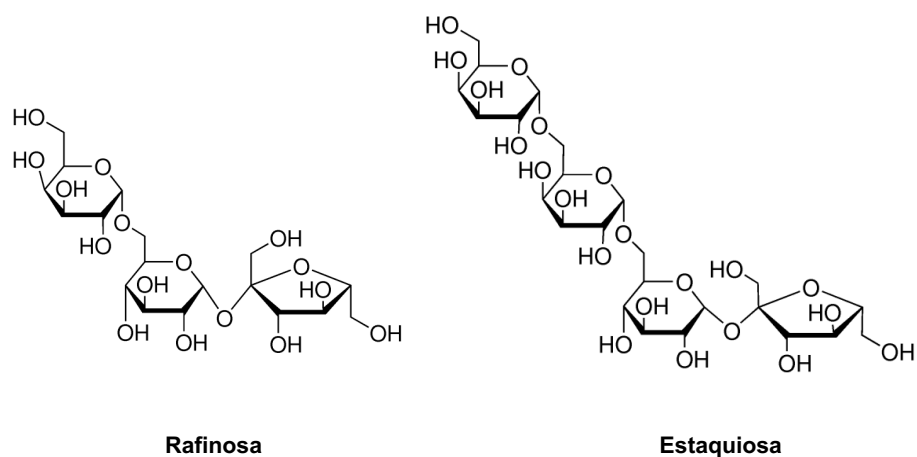


Figura 4. Oligosacáridos prebióticos de la soja.

Los oligosacáridos de la soja constituyen uno de los principales carbohidratos prebióticos utilizados actualmente como ingredientes en alimentación. Los prebióticos se definen como aquellos ingredientes no digeribles que en el colon estimulan selectivamente el crecimiento o la actividad de un número limitado de bacterias consideradas como beneficiosas para la salud (Gibson y Roberfroid, 1995). Estos compuestos además causan otros efectos beneficiosos en la salud humana tales como la reducción de los niveles de colesterol, reducción de la tensión arterial y prevención de algunos tipos de cáncer (Roberfroid, 2007). Sin embargo, los oligosacáridos de la soja pueden causar flatulencia y distensión abdominal lo que constituye un problema para su utilización en países Occidentales. Éstos se comercializan y emplean como suplementos dietéticos e ingredientes funcionales en Japón (Riaz, 2006).

La fracción de carbohidratos insolubles de la soja, fibra dietética, provienen fundamentalmente de la cáscara y las estructuras de la pared celular del grano de soja y se compone mayoritariamente por polisacáridos no celulósicos y minoritarios celulósicos (10%). Entre los no celulósicos destacan polisacáridos ácidos, compuesto por un núcleo básico de ácido D-galacturónico y L-ramnosa y ramificaciones constituidas por residuos de galactosa y arabinosa. Estudios recientes demuestran que la composición en carbohidratos de la soja puede ser optimizada vía fitomejoramiento lo que amplía el rango de aplicaciones de la soja cruda y los sub-productos generados durante la elaboración de aislados de proteínas de soja (Bainy y col., 2008). Las investigaciones realizadas indican que este componente también contribuye a los beneficios para la salud que se asocian con el consumo de soja tales como reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares, cáncer y mejora del funcionamiento intestinal (Riaz, 2006).

En comparación con otras fibras dietéticas destinadas al consumo humano, la fibra de soja presenta efectos beneficiosos desde el punto de vista funcional,

nutricional y fisiológico. Fibras solubles como las gomas y pectinas, reducen los niveles de colesterol y normalizan la glucosa pero son difíciles de incorporar en alimentos y no son bien aceptados por los consumidores. Fibras como el salvado de trigo son efectivas en la prevención y el tratamiento del estreñimiento pero tampoco son bien aceptadas por los consumidores durante largos periodos de tiempo. La fibra de soja parece ser el mejor de los suplementos de fibra comercialmente disponible (Slavin, 1991).

Existen dos fuentes de fibras de soja comercialmente disponibles las cuales se obtienen a partir de la cáscara entera del grano de soja y del cotiledón del grano de soja siendo distinta su composición. La cáscara contiene un 92% de fibra, 3,5% de humedad, 0,5% de grasas, 1,5% de proteínas y 2,5% de cenizas mientras que la fibra del cotiledón se compone típicamente de un 75% de fibra (65% polisacáridos no celulósicos y 10% polisacáridos celulósicos), 12% de humedad, 0,2% de grasas y 4,5% de cenizas. Estos productos pueden considerarse como sub-productos del proceso de elaboración de aislados de proteínas (Riaz, 2006).

La fibra de soja puede añadirse a diversos alimentos y está disponible en varios formatos. Diferentes fuentes de fibra de soja se emplean en dietas líquidas, especialmente en fórmulas para la nutrición enteral hospitalaria, o en la producción de panes hipocalóricos y bollería industrial, tales como magdalenas y galletas.

2.4. Lípidos

La mayor proporción de componentes grasos de la soja corresponden a ácidos grasos insaturados. En el perfil de ácidos grasos del aceite de soja destacan el ácido oleico (22%), el ácido linoleico (18:2, ω -6, 54%) y el linolénico (18:3, ω -3, 7.5%). Los ácidos grasos oleico y del tipo ω -3 ejercen efectos antiaterogénicos por lo que su presencia en la soja se asocia a las propiedades de esta legumbre para prevenir el riesgo de enfermedades cardiovasculares. Gran parte de los ácidos grasos de la soja

se encuentran formando parte de la lecitina que es considerada como un nutraceutico (Riaz, 2006). Por otra parte, la soja presenta un bajo contenido en ácidos grasos saturados, ya que no contiene colesterol, y presenta fitoesteroles y tocoferoles (vitamina E) (Riaz, 2006).

La lecitina de soja se aísla del aceite de soja y se encuentra comercialmente disponible en su forma natural y modificada. Los estudios realizados hasta el momento indican que la aplicación de lecitina de soja no modificada en la elaboración de derivados lácteos no es factible desde el punto de vista sensorial. Queda pendiente de estudio la aplicación de lecitina modificada y la aceptabilidad de la adición de ambas formas a productos fermentados (Suriyaphan y col., 2001).

2.5. Aplicaciones de los compuestos de la soja en la elaboración de alimentos lácteos funcionales y de tipo lácteo

La soja se considera en si misma un alimento multifuncional natural apto para el consumo humano de elevada calidad nutricional dado que contiene mayor contenido en proteínas que la carne de vacuno, más calcio que la leche de vaca, más lecitina que el huevo además de vitaminas, minerales y diversos compuestos biológicamente activos a los que ya se ha hecho referencia anteriormente. Desde el punto de vista económico su cultivo es rentable. Sin embargo, sus peculiares características organolépticas dificultan, a día de hoy, su empleo extensivo como alimento multifuncional en los países occidentales. Dado los diversos beneficios para la salud que del consumo sistemático de la soja y/o sus componentes se derivan se están realizando grandes esfuerzos para elaborar nuevos productos a base de soja que reúnan las propiedades sensoriales requeridas por los consumidores. En consecuencia, en el mercado internacional pueden encontrarse una gran variedad de productos fermentados y no fermentados a base de soja o de ingredientes alimentarios

derivados de ésta. Las aplicaciones de la soja y sus componentes en la industria de los alimentos han sido revisadas en detalle por Tripathi y Misra (2005), Riaz (2006) y Singh y col. (2008). Proteínas, isoflavonas y carbohidratos de soja se emplean fundamentalmente en la elaboración de alimentos a bases de cereales, productos derivados de la carne, bebidas y **productos lácteos o de tipo lácteo** a los que nos referiremos a continuación. Es de destacar que las preparaciones comerciales de proteínas (harinas, concentrados y aislados) son los ingredientes derivados de la soja que principalmente se emplean en la elaboración de alimentos. Estas preparaciones, como se ha comentado anteriormente, presentan diferente composición y contienen otros ingredientes bioactivos (Tablas 1 y 2). Los ejemplos que se presentan a continuación implican, en la mayoría de los casos, los diferentes formatos de preparados comerciales de proteínas de soja.

Los productos lácteos tienen un creciente interés como alimentos funcionales. La gran variedad de derivados lácteos que existen en el mercado, y la aceptación de los consumidores a la constante comercialización de productos innovadores por parte del sector lácteo indican que la leche es un vehículo interesante para incorporar ingredientes que no la componen de manera natural. Los consumidores tienen la creencia de que los productos lácteos son un alimento básico, saludable y por tanto fundamental de la dieta diaria. Son muchos los ejemplos de alimentos funcionales lácteos que se comercializan en la actualidad en todo el mundo. Prebióticos, probióticos, ácidos grasos ω -3, fitoesteroles, tocoferoles, vitaminas y minerales se emplean comúnmente como ingredientes funcionales en productos lácteos. La soja constituye una fuente natural de bajo coste y apta para el consumo humano de muchos de estos componentes con aplicación en la elaboración de lácteos funcionales y otros muchos alimentos de naturaleza diversa.

Actualmente, se comercializan diferentes productos lácteos suplementados con proteínas de soja (Recio y López-Fandiño, 2005). Existen dos gamas de productos,

fermentados y no fermentados que pueden bien elaborarse mezclando proteínas de soja y lácteas, o empleando como única fuente proteica la soja, teniendo estos alimentos una formulación similar o idéntica a los lácteos convencionales “alimentos tipo lácteos”. Estos últimos tienen como fin su empleo como alternativa a los lácteos en la alimentación de grupos poblacionales con requerimientos nutricionales específicos tales como alérgicos a las proteínas lácteas, intolerantes a la lactosa y vegetarianos estrictos entre otros.

2.6. Alimentos lácteos y tipo lácteos no fermentados

Las **proteínas de soja** pueden emplearse en la elaboración de bebidas ácidas y neutras tanto en solitario como conjuntamente con otras fuentes de proteínas tales como las de origen lácteo. Las bebidas que contienen proteínas lácteas tienen una presencia predominante en los países occidentales. Sin embargo, dado los demostrados beneficios de las proteínas de soja descritos para la salud humana, la presencia de bebidas a base de mezclas de proteínas lácteas y de soja, que incluyen leches enriquecidas y cremas para el café, se ha visto incrementada. La obtención de un producto final de calidad óptima requiere la completa solubilización de ambas fuentes proteicas. Los detalles tecnológicos de los procesos de elaboración de estos productos han sido previamente descritos por Riaz (2006). La leche de soja es fácil de digerir y puede emplearse como sustituto de la leche de vaca (Singh y col., 2008). Otro alimento lácteo no fermentado de creciente popularidad en países occidentales incluyendo España, con especial aceptación por la población femenina adulta, son las leches suplementadas con **isoflavonas de soja**.

Entre las bebidas cuya formulación incluye como única fuente de proteínas a las de soja caben destacar fórmulas infantiles, bebidas para cubrir necesidades nutricionales específicas, sucedáneos ó sustitutos de la leche de vaca y bebidas para

el control del peso entre otras. La suplementación con aminoácidos, vitaminas y minerales de determinados alimentos tales como fórmulas infantiles, es una práctica habitual aceptada. La utilización de las proteínas de soja en alimentos dirigidos a comedores escolares y otros preparados institucionales ofrece posibilidades únicas que no se podrían obtener empleando otra fuente de proteínas por razones de coste, de estabilidad y facilidad de la preparación o consideraciones médicas, como por ejemplo fórmulas infantiles hipoalergénicas. Las proteínas de sojas son una fuente proteica adecuada para la obtención de fórmulas especiales de uso en geriatría, hospitales y alimentación prospectiva con el fin de completar los requerimientos nutricionales, obtener contenido calórico específico y conseguir un balance entre las calorías aportadas por proteínas, grasas y carbohidratos (Singh y col. 2008).

Con el desarrollo de los concentrados y aislados solubles se ha hecho posible la elaboración de alimentos infantiles de una calidad superior. Estas preparaciones poseen mejores propiedades organolépticas (color, sabor y olor) y no contienen carbohidratos que pueden causar flatulencia. Aproximadamente, el 10% de las fórmulas infantiles contienen proteínas de soja. Las fórmulas infantiles a base de proteínas de soja se recomiendan para aquellos niños que presentan alergia a las proteínas lácteas y los que resultan intolerantes a la lactosa o deficientes de lactasa. Además de las fórmulas que no contienen proteínas lácteas o fórmulas infantiles a base de soja como única fuente de proteínas, existen otras fórmulas especiales que utilizan derivados de soja y que se emplean en las últimas etapas de la infancia, geriatría, nutrición hospitalaria y alimentación prospectiva.

2.7. Alimentos lácteos o tipo lácteos fermentados

Las proteínas de soja se emplean como ingredientes funcionales en la elaboración de yogures y mezclas con leche de origen animal. La adición puede realizarse a leche fermentada y no fermentada. La calidad sensorial de la leche

fermentada preparada a base de mezclas de leche de búfala y de soja resulta satisfactoria (Iñiguez y col. 2001). En España se comercializan yogures a base únicamente de proteínas de soja y derivados lácteos a los que se les adicionan concentrados de soja. Yogures con concentraciones de proteínas de soja de entre 1 y 2,5% son similares a los productos convencionales. La suplementación de los yogures a base de leche con baja pero significativa cantidad de proteínas de soja es una vía aceptada de introducción de proteínas de soja en la dieta.

Las proteínas de soja se emplean como ingredientes en quesos sustituyendo hasta en un 50% al caseinato sódico. Se elaboran productos fermentados de tipo queso pero se requieren más investigaciones para mejorar la textura y propiedades reológicas de estos productos (Singh y col., 2008).

Los aislados de proteínas de soja son la fuente más aceptada para su aplicación como ingrediente en productos lácteos dado su tamaño de partícula y grado de dispersión. Propiedades tecnológicas tales como la emulsificación o gelificación, o sensoriales como el color y sabor/olor son factores críticos para su aplicación en productos lácteos. A pesar del gran potencial que ofrecen los aislados de proteínas de soja en la producción de productos lácteos, estos alimentos no se producen en gran volumen en los países occidentales, siendo China y Japón los mayores productores de este tipo de alimentos. En Estados Unidos se comercializan pocos alimentos, tales como crema para café, nata líquida y otras emulsiones, con el fin de sustituir al caseinato sódico. Actualmente, se están haciendo grandes esfuerzos para aplicar las proteínas de soja en otros alimentos lácteos que incluyen bebidas alternativas a la leche de vaca, bebidas en polvo, postres congelados y productos similares a los quesos.

Las proteínas de soja tienen asegurado su papel como ingredientes en alimentos análogos o sustitutos lácteos elaborados para personas con requerimientos dietéticos especiales debido a problemas de salud y/o creencias religiosas. Las

harinas de soja se emplean como una alternativa a las proteínas lácteas en la elaboración de bebidas de bajo coste para el consumo humano en países en desarrollo. El mercado de las bebidas de soja ha crecido rápidamente. Los concentrados de soja se emplean en la alimentación de crías de animales tales como el cordero y cerdo, dado que contienen un bajo contenido en carbohidratos solubles. Las proteínas se emplean para formar emulsiones grasas como un método para incorporar grasas en la formulación y suministrar proteínas con interés nutricional.

Mezclas de proteínas de leche y soja en una concentración final similar a la presente en la leche se emplean en la elaboración de productos de panadería, salchichas, productos cárnicos, y para la sustitución completa o parcial de la leche en polvo desnatada. Aunque, en la actualidad en EEUU y Europa se restringe la imitación o modificación de los productos lácteos. Sin embargo, tarde o temprano nuevos productos, con mejores propiedades sensoriales y funcionales tendrán un papel más relevante en la elaboración de productos lácteos.

Conclusiones y futuro

Existen evidencias científicas que prueban que el consumo de soja protege frente a enfermedades cardiovasculares, algunos tipos de cáncer y la osteoporosis. El número de aplicaciones de la soja y sus componentes en la elaboración de alimentos funcionales es elevado. Así, el mercado de los productos lácteos ha incorporado con éxito a la soja y sus derivados como un componente saludable y habitual con la aceptación de los consumidores. Se cree que la soja será el alimento funcional saludable del siglo XXI.

El sabor de las proteínas de soja y su interacción con compuestos deseables e indeseables que participan en sus propiedades organolépticas es crítico y determina la aceptabilidad de alimentos que contienen preparaciones de soja y la aplicación de proteínas de soja. Se han realizado muchos progresos en este sentido pero el sabor residual siempre permanece. El sabor es un problema crítico especialmente en alimentos insípidos o de muy poco sabor tales como los productos lácteos que requiere ser aún mejorado.

Queda pendiente de contestación qué componente en concreto de los alimentos de soja es responsable de su efecto protector frente a las enfermedades cardiovasculares, el cáncer y la osteoporosis; así como, sus efectos potenciales en la prevención y el tratamiento de otras enfermedades contemporáneas como el Alzheimer. Otras áreas pendientes de investigación son las posibles variaciones de los efectos de la soja en los diferentes tejidos como consecuencia del procesado del alimento (fermentados o no fermentados) y los efectos sinérgicos de muchos de los compuestos bioactivos de la soja. El estudio de la estabilidad de los ingredientes funcionales frente a los procesos de elaboración y conservación de alimentos es fundamental. Igualmente, es necesario el estudio de la actividad biológica de los metabolitos derivados de los componentes de la soja, y conocer si se alcanzan

concentraciones fisiológicamente relevantes en los tejidos donde ejercen su acción. Es importante el estudio de las interacciones entre constituyentes del alimento durante el proceso de elaboración y tránsito por el tracto gastrointestinal. Los resultados que se deriven de estas investigaciones permitirán optimizar procesos para obtener alimentos de soja más saludables y una mejor formulación de alimentos funcionales empleando ingredientes obtenidos a partir de esta legumbre. Sin duda, el número de aplicaciones de la soja y sus derivados se ampliará y no se descarta que el sector lácteo dadas sus características sea uno de los más beneficiados en este sentido.

Agradecimientos

Las investigaciones llevadas a cabo por los autores del presente capítulo relacionadas con la potencialidad de los componentes de la soja como ingredientes de alimentos funcionales han recibido financiación de los siguientes proyectos: CYTED N° XI.24; ALIBIRD S-0505/AGR/000153 y Programa CONSOLIDER INGENIO 2010 FUNC-FOOD CSD 2007-063.

Referencias

- Adams, M. R., Anthony, M. S., Chen, H., Clarkson, T. B. (2008). Replacement of dietary soy 7S or 11S globulin has minimal or no effects on plasma lipoprotein profiles and biomarkers of coronary risk in monkeys. *Atherosclerosis*, 196, 76-80.
- Adams, M. R., Golden, D.L., Franke, A. A., Potter, S. M., Smith, H. S., Anthony, M. S. (2004). Dietary Soy β -conglycinin (7S Globulin) inhibits atherosclerosis in mice. *The Journal of Nutrition*, 134, 511-516.
- Aldeguer V. P. & Alejandre, A. P. (2007). La Salud y la Soja. Madrid: *Grupo Leche Pascual-EDIMSA*.
- Appel, L. J. (2003). The effects of protein intake on blood pressure and cardiovascular disease. *Current Opinion in Lipidology*, 14, 55-59.
- Augustin et al., O. M., Muñoz, E. M. V. (2006). Proteins and peptides in enteral nutrition. *Nutrición Hospitalaria*, 21, 1-13.
- Azadbakht, L., Esmailzadeh, A. (2008). Soy and cardio-metabolic abnormalities: an update. *Journal of Research in Medical Sciences*, 13, 88-96.
- Azuma, N., Machida, D., Saeki, T., Kanamoto, R., Iwami, K. (2000). Preventive effect of soybean resitant proteins against experimental tumorigenesis in rat colon. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 46, 23-29.
- Bainy, E. M., Tosh, S. M., Corredig, M., Poysa, V., Woodrow, L. (2008). Varietal differences of carbohydrates in defatted soybean flour and soy protein isolate by-products. *Carbohydrate Polymers*, 72, 664-672.
- Dalais, F. S., Rice, G. C., Wahlquist, M. L., Grehan, M., Murkies, A. L., Medley, G. (1998). Effects of dietary phytoestrogens on postmenopausal women. *Climateric*, 1, 124-129.
- Dunshen, F. R., Cox, M. L. (2008). Effect of dietary protein on body composition and insulin resistance using a pig model of the child adolescent. *Nutrition & Dietetics*, 65, S60-S65.
- Duranti, M., Lovati, M. R., Dani, V., Barbiroli, A., Scarafoni, A., Castiglioni, S., Ponzoni, C., Morazzoni, P. (2004). The α' subunit from soybean 7S globulin Powers plasma lipids and upregulates liver β -VLDL receptors in rats fed a hypercholesterolemic diet. *The Journal of Nutrition*, 134, 1334-1339.
- FDA (1999). Food labelling. Health claims: soy protein and coronary heart disease. *Food and Drug Administration*, 21 CFR Part 101, Oct 26.

- Fu, C. J., Jez, J. M., Kerley, M. S., Allee, G. L., Krishnan, H. B. (2007). Identification, characterization, epitope mapping, and three-dimensional modeling of the α -subunit of β -conglycinin of soybean, a potential allergen for young pigs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 40, 4014-4020.
- Gibson G. R., Roberfroid, M. B. (1995). Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. *The Journal of Nutrition*, 125, 1401-1412.
- Gran, B., Tabibzadeh, N., Martin, A., Ventura, E. S., Ware, J. H., Zhang, G. X., Parr, J. L., Kenned, A. R., Rostami, A. M. (2006). The protease inhibitor, Bowman-Birk Inhibitor, suppresses experimental autoimmune encephalomyelitis: a potential oral therapy for multiple sclerosis. *Multiple Sclerosis*, 12, 688-697.
- Iñiguez, C., Núñez, M., Cardoso, F. (2001). Elaboración de una leche fermentada con mezclas de leches de búfala y de soya. *Alimentaria. Revista de tecnología e higiene de los alimentos*, 322, 63-66.
- Kitts, D. D., Weiler, K. (2003). Bioactive proteins and peptides from food sources. Applications of bioprocesses used in isolation and recovery. *Current Pharmaceutical Design*, 9, 1309-1323.
- Kotsopoulos, D., Dalais, F. S., Liang, Y. L., McGrath, B. P., Teede, H. J. (2002). The effects of soy protein containing phytoestrogens on menopausal symptoms in postmenopausal women. *Climacteric*, 3, 161-167.
- Liu, K. S. (1997). Soybean, chemistry, technology, and utilization. New York: International Thomson Publishing
- Losso, J. N. (2008). The biochemical and functional food properties of the Bowman-Birk inhibitor. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48, 94-118.
- Lovati, M. R., Manzoni, C., Gianazza, E., Arnoldi, A., Kurowska, E., Carrol, K. K., Sirtori, C. R. (2000). Soy protein peptides regulate cholesterol homeostasis in Hep G2 cells. *The Journal of Nutrition*, 130, 2543-2549.
- Maruyama, Y., Maruyama, N., Mikami, B., Utsumi, S. (2004). Structure of the core region of the β -conglycinin α' subunit. *Acta Crystallographica*, D60, 289-297.
- Messina, M., Flickinger, B. (2002). Hypothesized anticancer effects of soy: evidence points to isoflavones as the primary anticarcinogens. *Pharmaceutical Biology*, 40, 6-23
- Messina, M., Ho, S., Alekel D.L. (2004). Skeletal benefits of soy isoflavones: a review of the clinical trial and epidemiologic data. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care* 7 (6): 649-658.

- Omoni, A. O., Aluko, R. E. (2005). Soybean Foods and their benefits: Potential mechanisms of action. *Nutrition Reviews*, 63, 272-283.
- Recio, I., López-Fandiño, R. (2005). Ingredientes y productos lácteos funcionales: bases científicas de sus efectos en la salud. En: M. Juárez, A. Olano, F. Morais. *Alimentos funcionales* (pp 23-100) Madrid: Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología.
- Riaz, M. N. (2006). *Soy Applications in Food*. Boca Ratón: CRC Taylor & Francis group.
- Roberfroid, M. (2007). Prebiotics: the concept revisited. Effects of probiotics and prebiotics. *The Journal of Nutrition*, 137, 839S-837S.
- Rowland, I., Faughnan, M., Hoey, L., Wahala, K., Williamson, G., Cassidy, A. (2003). Bioavailability of phyto-estrogens. *British Journal of Nutrition*, 89, S45-S58.
- Sariyapahan, O., Cadwallader, K. R., Drake, M. A. (2001). Lecithin associates off-aromas in fermented milk. *Journal of Food Science*, 66, 517-523.
- Singh, P., Kumar, R., Sabapathy, S. N., Bawa, A. S. (2008). Functional and Edible uses of soy protein products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 7, 14-28.
- Sirtori, C.R., Even, R., Lovati, M. R. (1993). Soybean protein diet and plasma cholesterol: from therapy to molecular mechanism. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 676, 188-201.
- Sirtori, C. R., Lovati, M. R., Manzoni, C., Monetti, M., Pazzuconi, F., Gatti, E. (1995). Soy and cholesterol reduction: clinical experience. *The Journal of Nutrition*, 125, 598S-605S.
- Sirtori, C. R., Lovati, M. R., Manzoni, C., Gianazza, E., Staels, B., Auwerx, J. (1998). Reduction of serum cholesterol by soy proteins: clinical experience and potential molecular mechanisms. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 8, 334-340.
- Slavin J. (1991). Nutritional benefits of soy protein and fiber. *Journal of the American Dietetic Association*. 91, 816-819.
- Takenaka, A., Annaka, H., Kimura, Y., Aoki, H., Igarashi, K. (2003). Reduction of paraquat-induced oxidative stress in rats by dietary soy peptide. *Bioscience Biotechnology, and Biochemistry*, 67, 278-283.
- Torres, N., Torre-Villalvazo, I., Tovar, A. R. (2006). Regulation of lipid metabolism by soy protein and its implication in diseases mediated by lipid disorders. *The Journal of Nutrition Biochemistry*, 17, 365-373.

- Tripathi, A. K., Misra, A. K. (2005). Soybean- a consummate functional food. A review. *Journal of Food Science & Technology*, 42, 111-119.
- Wang, Y., Luo, W., Reiser, G. (2008). Trypsin and trypsin-like proteases in the brain: proteolysis and cellular functions. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 65, 237-252.
- Zhang, X., Shu, X., Li, H. (2005). Prospective cohort study of soy food consumption and risk of bone fracture among postmenopausal women. *Archives of International Medicine*, 165, 1890-1895.