

Suero de leche y su aplicación en la elaboración de alimentos funcionales

M. Hernández-Rojas* y J.F. Vélez-Ruiz

Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Universidad de las Américas Puebla.

Ex hacienda Sta. Catarina Mártir, C.P.72810, San Andrés Cholula, Puebla, México.

RESUMEN

El suero de leche es un producto lácteo obtenido por la precipitación de la caseína en la fabricación de quesos; contiene más del 50% de los sólidos de la leche, incluyendo proteínas, lactosa, minerales y vitaminas. Durante muchos años se consideró como un desperdicio y agente contaminante, sin embargo, este punto de vista ha cambiado radicalmente debido a que este subproducto es una fuente rica en materias primas y cada uno de sus componentes puede ser aprovechado de alguna forma. Por otro lado, los alimentos funcionales son aquellos que pueden contribuir activamente a un buen estado de salud, además de cubrir ciertas necesidades nutricionales. Específicamente, las proteínas del suero de leche están siendo utilizadas en la producción de alimentos funcionales como por ejemplo fórmulas infantiles, bebidas fortificadas, batidos de proteínas de suero, entre otros. El objetivo de este artículo es hacer una revisión sobre la aplicación de este sub-producto y sus proteínas en la elaboración de alimentos funcionales.

Palabras clave: suero de leche, proteínas del suero de leche, alimentos funcionales.

ABSTRACT

Whey is a dairy product obtained in the manufacture of cheese by the precipitation of casein; contains more than 50% of milk solids, including proteins, lactose, minerals and vitamins. For many years it was considered wasteful and polluting, however, this view has changed dramatically because this product is a rich source of raw materials and each one of its components can be exploited in some way. On the other side, functional foods are those that specifically can actively contribute to good health, in addition to satisfy some nutritional needs. Specifically, the whey proteins are currently being used in the production of functional foods such as infant formulas, fortified beverages, and whey protein shakes among others. The objective of this article is to review the application of this sub-product and its proteins in the development of functional foods.

Key words: whey, whey proteins, functional foods.

 Programa de Maestría
en Ciencia de Alimentos
Tel.: +52 222 229 2126
Fax: +52 222 229 2727
Dirección electrónica:
marai.hernandezrs@udlap.mx

Introducción

Un alimento puede ser considerado funcional si además de su valor nutricional intrínseco, ha demostrado también tener un efecto beneficioso sobre una o más funciones selectivas del organismo, de tal modo que resulta apropiado para mejorar el estado de salud y bienestar y/o para la reducción de riesgo de ciertas enfermedades. Un alimento funcional será semejante en apariencia a un alimento convencional, consumido en cantidades habituales y como un componente más de la dieta. El efecto beneficioso de un alimento funcional requiere demostrarse científicamente y producirse en niveles relevantes, lo que supone que los resultados no sólo han de ser estadísticamente significativos, sino que han de tener cierta importancia desde una perspectiva clínica, fisiológica o biológica. Un alimento funcional puede ser natural u obtenido mediante procedimientos tecnológicos o biotecnológicos, englobando consecuentemente alimentos tradicionales siempre que existan evidencias científicas que demuestren su efecto funcional en sujetos con determinadas características o estados patológicos (Begoña y Jiménez, 2014).

El suero de leche líquido es un subproducto que durante muchos años ha sido considerado como un desecho; actualmente es utilizado por sus múltiples nutrientes y propiedades funcionales (Marshall, 2004; Madureira, 2007). Este subproducto está compuesto por agua, lactosa, proteínas, minerales (calcio, fósforo, magnesio) y grasa. Las proteínas son indiscutiblemente el componente de mayor importancia del suero, sus propiedades y aplicaciones son de gran interés en diversas áreas. El espectro de beneficios confirmados y el potencial que presenta la proteína del suero para la salud, cubre todo el ciclo de la vida, desde la nutrición infantil hasta productos para ancianos. Asimismo, está comprobado que la proteína del suero es un ingrediente alimenticio dinámico, capaz de desempeñar un papel fundamental en áreas de la salud tan diversas como integridad y motilidad intestinal, funcionamiento y fortalecimiento del sistema inmunológico, cáncer, sistema cardiovascular, mejoría del desempeño cardiorrespiratorio y participación en el incremento del rendimiento deportivo (Rhône-Poulenc, 1998; Walzem, Dillard, y German, 2002; Guerrero, Ramírez y Puente, 2011; Mendes da Silva, 2011). Existe un interés creciente por la industria de lácteos y otros alimentos e incluso industrias farmacéuticas, por diseñar y formular productos que incorporen componentes bioactivos específicos de proteínas de suero de leche (Mendes da Silva, 2011).

Por todo lo anterior, el objetivo de este artículo es hacer una revisión sobre los aspectos generales del suero de leche y

sobre la aplicación de este sub-producto y sus proteínas en la elaboración de alimentos funcionales.

Revisión Bibliográfica

1. Origen y composición del suero de leche

La leche es la materia prima con la cual se elabora el queso. La producción de quesos demanda gran cantidad de leche. Para obtener un kilogramo de queso, se necesitan aproximadamente 10 litros de leche y se generan 9 litros de lactosuero como subproducto. Jelen (2003), definió al suero de leche como un líquido translúcido verde, obtenido de la leche después de la precipitación de la caseína. Así mismo, Jovanovic, Barac, y Macej (2005), mencionan que el suero o lactosuero de leche es el residuo líquido color amarillento, que se obtiene mayoritariamente después de la separación de la cuajada en la elaboración de quesos.

La composición nutricional del lactosuero puede variar considerablemente dependiendo de las características de la leche utilizada para la elaboración del queso, el tipo de queso producido y el proceso tecnológico empleado en la elaboración del queso. A partir de estas diferencias se encuentran los tipos de lactosuero (Poveda, 2013). Los dos tipos más comunes de suero de leche son el dulce y el ácido. El suero dulce se obtiene de la elaboración del queso mediante el uso de enzimas proteolíticas o cuajo, las cuales actúan sobre las caseínas de la leche y las fragmentan, haciendo que éstas se desestabilicen y precipiten, todo esto bajo condiciones específicas de temperatura, aproximadamente entre 15-50 °C, con un pH ligeramente ácido. Por otro lado, el suero ácido se genera mediante la precipitación ácida de la caseína, la cual se logra disminuyendo el pH de la leche a un valor de 4.5 o 4.6. A este pH se alcanza el punto isoelectrónico de la mayoría de las caseínas presentes; en este punto, la carga eléctrica neta de la proteína es igual a cero, lo cual produce que la micela de caseína se desestabilice y precipite, dejando en solución solamente las proteínas de tipo séricas (Jovanovic *et al.*, 2005). Existe un tercer tipo de suero no tan común, que se produce en Egipto; es un suero de leche con sal que se obtiene en la fabricación de queso Domiati, el principal queso fresco egipcio (Abd El-Salam, El-Shibiny y Salem, 2009).

En términos promedio, el suero de leche contiene más de la mitad de los sólidos presentes en la leche original, incluyendo alrededor del 20% de las proteínas (lactoalbúminas y lactoglobulinas), la mayor parte de la lactosa, minerales (calcio,

Tabla 1. Composición de los sueros de leche dulce y ácido.

Componente (g/L)	Suero de leche dulce	Suero de leche ácido
Sólidos totales	63.0 - 70.0	63.0 - 70.0
Lactosa	46.0 - 52.0	44.0 - 46.0
Grasa	0.0 - 5.0	0.0 - 5.0
Proteína	6.0 - 10.0	6.0 - 8.0
Calcio	0.4 - 0.6	1.2 - 1.6
Fósforo	0.4 - 0.7	0.5 - 0.8
Potasio	1.4 - 1.6	1.4 - 1.6
Cloruros	2.0 - 2.2	2.0 - 2.2

Adaptado de Panesar (2007), Callejas (2012).

fósforo, sodio y magnesio) y vitaminas hidrosolubles (tiamina, ácido pantoténico, riboflavina, piridoxina, ácido nicotínico, cobalamina y ácido ascórbico) (Londoño, 2006; Guerrero *et al.*, 2011).

En la Tabla 1 se muestra la composición detallada de los sueros de leche dulce y ácido, observándose que el dulce tiene mayor concentración de lactosa y proteína, con respecto al ácido. Sin embargo, el suero de leche ácido contiene una mayor cantidad de fósforo y calcio en comparación con el suero de leche dulce.

Debido a sus propiedades nutricionales y funcionales, el lactosuero se ha convertido en una materia prima conveniente para obtener diferentes productos a nivel tecnológico. Se ha establecido que es posible transferir diversas propiedades funcionales identificadas en el suero de leche a nuevos productos alimenticios. Por tal motivo, se ha incrementado el uso de proteínas de suero de leche como ingredientes en alimentos fisiológicamente funcionales (Morr y Ha, 1993). En la Tabla 2 se muestran algunos usos del suero de leche en alimentos, así como el beneficio que proporciona las propiedades fisicoquímicas de éstos.

La utilización del suero en los últimos años va acompañado de la realización de investigaciones en la industria láctea, siendo considerado hoy en día uno de los campos más importantes de investigación y desarrollo de esta industria de alimentos (Guerrero *et al.*, 2011).

2. Proteínas del suero de leche

Las proteínas no constituyen la fracción más abundante en el suero de leche, representa aproximadamente, el 18-20% de las proteínas totales de la leche., sin embargo, sí es la más interesante desde el punto de vista económico y nutricional (Parraga, 2009). Esta fracción contiene cuatro proteínas principales: β -lactoglobulina (β -LG), α -lactoalbúmina (α -La), albúmina de suero sanguíneo (BSA) e inmunoglobulina (Ig). Los componen-

Tabla II. Algunas aplicaciones y beneficios del lactosuero en alimentos.

Aplicaciones en	Algunos beneficios
Productos de panadería	Incrementar el valor nutricional, funcionar como emulgente, reemplazar la adición de huevo, dar cuerpo a la masa
Quesos	Incrementar el valor nutricional, funcionar como emulgente, funcionar como gelificante, mejorar propiedades organolépticas, mejorar consistencia, incrementar la cohesividad
Bebidas	Incrementar el valor nutricional, mejorar la solubilidad, mejorar la viscosidad, mejorar la estabilidad coloidal
Postres	Funcionar como emulgente, dar cuerpo y textura a los productos
Confitería	Funcionar como emulgente y facilitar el batido
Productos cárnicos	Funcionar como pre-emulgantes, funcionar como gelificante, mejorar solubilidad
Otros	Alimentos de mayor valor nutricional y bajo costo, alimentos para deportistas, para personas de la tercera edad, fórmulas nutricionales especiales para mantener peso saludable o aumentar consumo de proteína, fórmulas infantiles, fórmulas especiales para alimentación hospitalaria

Adaptado de Poveda (2013).

tes menores de esta fracción son lactoferrina, transferrina, y la fracción lactolin proteosa-peptona (PP) (Jovanovic *et al.*, 2005).

La β -lactoglobulina representa, aproximadamente, la mitad de las proteínas totales del suero de leche bovino. Está compuesta por 162 aminoácidos residuales; 84 de éstos son aminoácidos esenciales (Jovanovic *et al.*, 2005). El centro de la proteína es hidrofóbico, por lo que es capaz de fijar moléculas hidrófobas como colesterol y retinol. La β -LG presenta alta resistencia a la digestión gástrica en algunos seres humanos, lo que origina intolerancia y/o alergenidad. Sin embargo, tratamientos industriales como esterilización, calentamiento o presión hidrostática alta y la hidrólisis, mejoran la digestibilidad de la β -LG presente en el lactosuero (Pescumma, Hérbet, Mozzi y Font, 2008).

Las α -lactoalbúminas son de las principales proteínas que se encuentran en la leche humana y bovina. Comprenden, aproximadamente, del 20 al 25% de las proteínas de suero de leche y contienen una gran variedad de aminoácidos, incluyendo un suministro fácilmente disponible de aminoácidos de cadena ramificada y esenciales (Walzem *et al.*, 2002). La proteína α -La purificada se utiliza muchas veces en fórmulas infantiles para lactantes (Marshall, 2004). También presenta una gran afinidad por el calcio y otros minerales como zinc, manganeso, cadmio, cobre y aluminio (Parra, 2009). Las albúminas de suero sanguíneo se derivan de la circulación sanguínea de la vaca, y no son sintetizadas por la glándula mamaria. La concentración de albúmina de leche aumenta durante la mastitis y durante la involución mamaria. La función de estas proteínas en la leche es desconocida (Walzem *et al.*, 2002).

Las inmunoglobulinas (Ig) son anticuerpos. Existen cinco clases de anticuerpos: IgA, IgD, IgE, IgG e IgM. IgG constituye, aproximadamente, el 75% de los anticuerpos en un adulto; se transfiere de la madre al niño en el útero a través de la sangre y en la lactancia materna, sirve como una primera línea de defensas inmune para el niño, conocida como "inmunidad pasiva". El calostro contiene concentraciones significativamente mayores de inmunoglobulinas, con respecto a la leche madura. Del mismo modo, la fracción de suero de leche contiene una cantidad significativa de inmunoglobulinas, aproximadamente, del 10 al 15 % del total de las proteínas del suero de leche (Marshall, 2004).

La lactoferrina (LF) es un agente antioxidante no enzimático, encontrado en la fracción de suero de la leche, así como en el calostro. La lactoferrina de suero de leche se compone de, aproximadamente, 700 aminoácidos residuales y de una cadena de polipéptidos individuales con dos sitios de unión

para iones férricos. La concentración de lactoferrina en la leche bovina y calostro es de aproximadamente 0.2 mg/mL y 1.5 mg/mL, respectivamente. Las fuentes dietéticas principales de lactoferrina son la leche, el yogur, el queso y otros productos lácteos (Walzem *et al.*, 2002).

2.1. Propiedades nutricionales y funciones biológicas de las proteínas del suero de leche

Las proteínas del suero se han utilizado durante muchos años como suplementos alimenticios de alto valor nutritivo (Rhône-Poulenc, 1998), debido a su capacidad para proporcionar aminoácidos esenciales. El comportamiento de las proteínas de suero de leche en el intestino es muy distinto al de las caseínas. La caseína micelar forma coágulos dentro del estómago, lo que ralentiza su salida y aumenta su hidrólisis antes de entrar en el intestino delgado. Las proteínas de suero de leche son proteínas rápidas, llegan al yeyuno casi inmediatamente después de entrar en el estómago. Sin embargo, su hidrólisis en el intestino es más lenta que la de las caseínas. Esto causa que la digestión y la absorción se produzcan a través de una mayor longitud del intestino (Jovanovic *et al.*, 2005).

Debido a su contenido de aminoácidos esenciales, el valor biológico de las proteínas de suero de leche es alto comparado con el de otras proteínas. La calidad de la proteína se refiere a la capacidad para proporcionar nitrógeno en un patrón equilibrado de aminoácidos esenciales y no esenciales (Jovanovic *et al.*, 2005).

La razón de eficiencia proteica (PER) de una fuente de proteína, mide el aumento de peso de los animales jóvenes por gramo de proteína consumido durante un período de tiempo dado. Las proteínas del suero tienen proporcionalmente más aminoácidos que contienen azufre (cisteína, metionina) que las caseínas, lo que contribuye un mayor PER (3.5) comparado con el de las caseínas (2.6). Cualquier proteína con un PER de 2.5 se considera de buena calidad. Debido a que las proteínas del suero tienen un excedente relativo de algunos aminoácidos esenciales (lisina, treonina, metionina, isoleucina), son complementos eficaces de proteínas vegetales, que a menudo están limitadas en esos aminoácidos. Así, las proteínas de suero de leche tienen efectos favorables en muchas proteínas comunes, cuyo PER es menor a 2.5, como las de los cereales y las leguminosas (Walzem *et al.*, 2002).

Todas las proteínas del suero de leche tienen diferentes funciones biológicas. Entre los principales beneficios se destacan: prevención del cáncer (mama, colon y próstata), incremento de los niveles de glutatión (aumento de la vulnerabilidad de las células tumorales y el tratamiento de los pacientes

Tabla III. Funciones biológicas de las proteínas del suero de leche

Proteína	Función biológica	Referencias
β-Lactoglobulina	Transportador (retinol, palmitol, ácidos grasos, vitamina D y colesterol) Aumento de la actividad esterasa pregastrica Transferencia de inmunidad pasiva Regulación de la glándula mamaria en el metabolismo del fósforo	(Chatterton <i>et al.</i> , 2006; Puyol <i>et al.</i> , 1991; Wang <i>et al.</i> , 1997; Perez <i>et al.</i> , 1992; Warne <i>et al.</i> , 1974; Farrell <i>et al.</i> , 2004)
α-Lactoalbúmina	Prevención del cáncer Síntesis de lactosa Tratamiento de la enfermedad inducida por el estrés crónico	(Marshall <i>et al.</i> , 2004; Chatterton <i>et al.</i> , 2006; Smithers, 2008; Markus <i>et al.</i> , 2002; Ganjam <i>et al.</i> , 1997)
Albuminas del suero	Función antimutagénica Prevención del cáncer Inmunomodulación	(Walzem <i>et al.</i> , 2002; Marshall <i>et al.</i> , 2004; Madureira, 2007; Bosselaers <i>et al.</i> , 1994; Rodrigues <i>et al.</i> , 2009)
Inmunoglobulinas	Prevención y tratamiento de diversas infecciones microbianas (infecciones de las vías respiratorias superiores, gastritis, caries dental, diarrea, entre otras)	(Mehra <i>et al.</i> , 2006; Pan <i>et al.</i> , 2006)
Lactoferrina	Actividades antibacterianas, antivirales, antifúngicas. Evita varias infecciones microbianas y varios tipos de cáncer Actividad prebiótica	(El-Fakharany <i>et al.</i> , 2008; Madureira <i>et al.</i> , 2007; Pan <i>et al.</i> , 2006; Rodrigues <i>et al.</i> , 2009; Smithers, 2008; Wakabayashi <i>et al.</i> , 2006)
Lactoperoxidasa	Biocidas y actividades biostáticas Prevención de cáncer de colon y cáncer de piel	(Boots y Floris, 2006; Smithers, 2008)
Glicomacropéptidos	Interacción con toxinas, virus, y bacterias (mediada por la fracción de carbohidratos) Control de la formación de ácido en la placa dental Actividad inmunomoduladora	(Thoma-Worringer <i>et al.</i> , 2006; Aimutis <i>et al.</i> , 2004; Matin y Otani, 2000)
Osteopontina	Mineralización ósea, se utiliza para el tratamiento del cáncer	(Rodrigues <i>et al.</i> , 2009)
Proteasas peptonas	Efectos inmunoestimulantes Prevención de la caries	(Sugahara <i>et al.</i> , 2005; Aimutis, 2004; Grey <i>et al.</i> , 2003)

Adaptado de Mendes da Silva (2011).

con VIH), actividades antimicrobianas y antivirales, incremento de la respuesta de saciedad, efectos inmunomoduladores y actividad prebiótica (Marshall, 2004). En la Tabla 3 se presentan las funciones biológicas de las distintas suero proteínas.

Los trabajos realizados en ratas con tumores de colon inducidos con el carcinógeno azoximetano, han demostrado la actividad antitumoral de las proteínas del suero de leche; esto a partir de tratamientos de suplementación de lactoferrina purificada a dosis variables (2.0 y 0.2 g de lactoferrina durante 36 semanas). Los resultados mostraron una reducción en la incidencia de estos tumores, así como en el número de adenocarcinomas. En concreto, la aparición de tumores fue de 15 y 25%, respectivamente, para los tratamientos, frente al 57% en el grupo control (Sekine *et al.*, 1997).

Diversos trabajos han evaluado la capacidad de prevenir la formación de úlceras pépticas en animales por las proteínas del suero y sus péptidos, demostrando de esta manera la actividad gastroprotectora de éstas. Las úlceras se indujeron mediante dosis ulcerogénicas de etanol y de antiinflamatorio indometacina y los tratamientos se aplicaron a grupos de ocho animales. Se demostró que las propiedades inmunomoduladoras de las proteínas del suero dependían fundamentalmente de su estructura primaria (secuencia de aminoácidos) y de la riqueza de cisteína/cistina, principalmente de la lactoalbúmina, inmunoglobulinas, lactoferrina y albúmina de suero bovina (Bertoldo *et al.*, 2006).

La actividad inmunomoduladora de las proteínas del suero de leche se ha evaluado mediante la estimulación en la pro-

ducción de anticuerpos y el aumento de los niveles de glutatión, medidos en el hígado. Los resultados de este estudio confirmaron la habilidad de estas proteínas y sus hidrolizados para estimular la síntesis de glutatión en el hígado de ratones, al igual que la producción de anticuerpos (Bertoldo *et al.*, 2006).

Bounous en el 2000, en un estudio realizado con ratas alimentadas con una dieta con proteínas del suero como fuente proteica, encontró que la respuesta inmune fue cinco veces mayor que en dietas con caseína o caseína con cisteína suplementada. Este estudio demuestra que ese incremento de respuesta inmune está acompañado de un aumento en la producción de glutatión en el bazo durante la expansión linfocitaria.

Se han llevado a cabo muy pocos estudios en humanos. Al contrario que en células normales, las proteínas del suero podrían disminuir las concentraciones de glutatión en células cancerosas, se considera que podría ser útil administrar este tipo de proteínas para disminuir las concentraciones de glutatión y así hacer más vulnerables las células cancerosas a la acción de la quimioterapia. Por otro lado, tras administrar durante tres meses a tres individuos VIH-sero-positivos un suplemento de proteínas de suero de leche, se encontró un incremento de los valores sub óptimos de glutatión de las células mononucleares sanguíneas (Bounous, Baruchel, Falutz y Gold, 1993).

La proteína con mayor número de propiedades es la lactoferrina. Se ha visto que puede presentar actividad bacteriostática frente a un gran número de organismos. Un estudio realizado a partir de 150 individuos infectados con *H. pylori*, demostró que al proporcionarle a los pacientes un tratamiento con dosis variables de antibiótico de 200 mg de lactoferrina encapsulada, durante 7 a 10 días, disminuía hasta un 100% la infección; mientras que con el tratamiento básico la disminución era del 77% (Di Mario, Aragona, y Dal Bo, 2003).

La actividad antiviral de la lactoferrina se evaluó en pacientes portadores de la hepatitis C, donde 11 pacientes infectados recibieron dosis de lactoferrina de 1.8 y 3.6 g por día. Al finalizar el tratamiento (8 semanas), se observó una reducción en la concentración de alanina transferasa y en el ARN del virus de la hepatitis C, en el 75% de los pacientes, los cuales presentaron una elevada concentración al inicio del tratamiento (Sekine *et al.*, 1997).

2.2. Procedimientos para la recuperación de las proteínas del suero

Desde la década de 1990, se ha realizado la separación del conjunto de proteínas de la lactosa, a partir de soluciones de lactosuero, utilizando el proceso filtración tangencial con mem-

branas (Marshall y Harper, 1988; Alkhatim *et al.*, 1998; Brans, Schroën, Sman, y Boom, 2004; Etzel, 2004). Este proceso consiste en concentrar las proteínas y permear la lactosa a través de membranas de microfiltración y ultrafiltración, recuperando en dos corrientes de salida estos componentes. A su vez, las soluciones de lactosa han sido tratadas con membranas de nanofiltración para separar lactosa de las sales minerales, completando el fraccionamiento del lactosuero y recuperando tres productos importantes y reusables en la industria (Muro *et al.*, 2010).

También existen otros métodos de recuperación en los cuales no se utilizan membranas, como el método de intercambio iónico; éste se basa en el uso de resinas especiales con carga iónica inversa a la carga de las proteínas. Una vez que las proteínas han sido atraídas por la resina y separadas así de la grasa, la lactosa y los minerales, la carga de dichas resinas es nuevamente invertida para provocar su separación de las proteínas. Este método genera un producto con alta concentración de proteína (90 - 92%), muy baja en grasa y en lactosa, pero desafortunadamente se pierden una gran parte de las microfracciones bioactivas del suero, especialmente las microfracciones lactoferrina, lactoperoxidasa y lisozima (Acero, Benítez, Leal y Real, 2006). A partir de estos procesos de separación de la proteína, se han creado diversos productos como los concentrados, aislados e hidrolizados de proteínas. Los concentrados de proteína surgen a partir de la ultrafiltración. El concentrado del suero de leche es generalmente clasificado como el más básico de los tipos de proteínas de suero de leche (Muro *et al.*, 2010).

El contenido de proteína en los concentrados puede variar considerablemente, entre el 35 y el 85%, por lo que existe una enorme diferencia en la calidad de los distintos polvos de concentrado de proteína de suero de leche. Esto depende de la magnitud de la filtración. Los más conocidos tienen entre 68 y 80%. Es un producto menos costoso que el aislado de proteínas de suero de leche o que el hidrolizado (Etzel, 2004).

El aislado de proteína de suero se somete a un procesamiento más fino, por lo que la proteína es más pura que la del concentrado. La mejoría en la calidad de la proteína puede ocurrir por un tiempo de filtrado más largo o por el proceso de cromatografía de intercambio iónico (Bounous, 2000). Si el concentrado y el aislado pasan por un proceso de hidrólisis, las cadenas de proteínas más largas se descomponen en péptidos menores. Como se mencionó anteriormente, el suero de leche está formado por polipéptidos bastante cortos, pero esta hidrólisis los hace aún más pequeños y es un proceso semejante a una pre-digestión de las proteínas (Muro *et al.*, 2010).

3. Alimentos funcionales elaborados con proteínas de suero de leche

En la actualidad, la salud es una de las principales razones que determinan la selección de alimentos por los consumidores conscientes de los efectos potenciales de la dieta sobre la prevención de enfermedades y el bienestar (Bogue y Ryan, 2000). Los alimentos que, de manera específica, pueden contribuir activamente a un buen estado de salud, además de cubrir las necesidades nutricionales, se denominan “alimentos funcionales”. El Programa Europeo de la Ciencia de los Alimentos Funcionales, financiado por la Unión Europea (UE) y dirigido por el Instituto Internacional de Ciencias de Vida (ILSI), los define de la siguiente manera (Diplock *et al.*, 1998): “Un alimento puede considerarse “funcional” si está demostrado satisfactoriamente que puede afectar beneficiamente a una o más funciones en el cuerpo más allá de los efectos nutricionales, de manera que sea relevante, como una mejora del estado de salud y bienestar y/o una reducción del riesgo de enfermedad”. Actualmente, la mayoría de los alimentos funcionales disponibles en el mercado son productos con base láctea, a los que se añade un componente funcional o ingredientes procedentes de la leche, obtenidos por concentración, por el metabolismo microbiano o por su transformación enzimática. Su éxito radica en las excelentes propiedades nutricionales de la leche. Los productos lácteos funcionales más comunes son aquellos que contienen bacterias probióticas. Las funciones prebióticas de productos de suero de leche son de importancia crítica para los fabricantes de productos de leche fermentada probióticos o nutracéuticos (Madureira *et al.*, 2007).

Cuando en la década de 1970 aparecieron fórmulas infantiles basadas en lactosuero, simulando la leche humana, la atención giró al desarrollo de estos productos (Wit, 2003). Este fue el inicio de las fórmulas infantiles mezclando cantidades iguales de leche descremada y lactosuero desmineralizado, y otros componentes como vitaminas, minerales, taurina y nucleótidos, entre otros (Sinha, Radha, Prakash y Kaul, 2007).

El principal problema con estos productos ha sido la utilización de la β -lactoglobulina. Esta proteína, ausente en la leche humana, ha demostrado ser una causa importante de alergia infantil, por lo cual limita el uso de la leche de bovinos como materia prima para la producción de leche para infantes. Sin embargo, varios productos comerciales destinados a alimentos infantiles están basados en la caseína de lactosuero y la mayoría de ellos tienen importantes cantidades de β -lactoglobulina (con tratamientos previos como la desnaturalización). Estas fórmulas han sido desarrolladas para infantes cuyo objetivo es bajar de peso, equilibrar balances de aminoácidos

para el crecimiento y regular el metabolismo (Wit, 2003; Sinha *et al.*, 2007).

Un efecto que ha sido observado en ratas alimentadas con proteínas de suero de leche, ha sido una ventaja en la resistencia en el ejercicio físico. Las reservas de glucógeno muscular y los niveles glucémicos fueron preservados después de alcanzarse el agotamiento físico del animal. Esta declaración condujo al descubrimiento de que el consumo de esas proteínas reducía el gasto acelerado de energía y el desgaste de las reservas corporales.

La utilidad de las proteínas del suero como suplemento de la dieta de deportistas está fundamentada en su alto contenido de aminoácidos de cadena lateral ramificada. Estos aminoácidos, son promotores del crecimiento muscular, regeneración de tejidos e incluso, reposición de la masa muscular en pacientes con SIDA (Lollo *et al.*, 2014).

La empresa Nestlé, hace algunos años dirigió estudios como parte del Programa de Nutrición Clínica y Desempeño de la Nutrición en donde se comparó la velocidad de digestión del suero de leche y la caseína en adultos mayores. Estos estudios demostraron que la velocidad de digestión proteica del suero de leche es más alta que la de la caseína. En otro estudio realizado en nueve adultos mayores voluntarios saludables, la síntesis y balance de proteína postprandial eran más altos con el suero de leche que con la caseína. La conclusión de estas pruebas fue que los suplementos a base de suero de leche inducen mayor síntesis y balance de proteína que los suplementos a base de caseína. Investigadores de Nestlé diseñaron para los pacientes con función gastrointestinal complicada un producto alimenticio de patente (Peptamen) a base de péptidos, para nutrición entérica, que contenía proteínas hidrolizadas de suero de leche y triglicéridos de cadena media. El suero de leche se seleccionó por su alto contenido de cisteína (precursor de glutatióna y la glutamina), alto contenido de aminoácidos de cadena ramificada (precursores de glutamina) y bajo contenido de arginina (promueve la síntesis del glutamina) (Lloyd, 2002).

Se han desarrollado varias hipótesis acerca del efecto benéfico de la glutamina en diversas situaciones clínicas. Se sabe que la concentración de glutamina se ve disminuida en estados catabólicos. Otros papeles importantes de la glutamina incluyen ser fuente de energía para las células de rápido reemplazo (células inmunes y células intestinales), y su habilidad de limitar la atrófia de la mucosa y de reforzar la barrera del intestino. Estudios en animales mostraron que el incremento en peso y concentración de la glutamina en el plasma y el músculo, después de una inanición seguida de realimentación, era superior al utilizar los productos de patente a base de suero

de leche en comparación a dietas control a base de soya o de mezclas del aminoácido simple. Según estos estudios, las proteínas del suero de leche, aunque contienen un nivel relativamente bajo de glutamina, son las más eficaces en la mejora del estado de la glutamina (Lloyd, 2002).

Las proteínas de suero hidrolizadas contienen un alto nivel de péptidos bioactivos y complejos minerales de leche. Estos dos ingredientes muestran ciertos componentes promisorios para el desarrollo de alimentos funcionales, destinados a mejorar la salud cardiovascular. Las proteínas de suero de leche pueden ser además utilizadas como componentes en otros alimentos, tales como bebidas lácteas fermentadas o en productos con contenidos altos de ácido linoleico conjugado (CLA por sus siglas en inglés), productos que podrían estar diseñados para una nueva generación de productos lácteos, diseñados para promover la salud cardiovascular (Walzem, 2002).

Conclusión

Debido a las grandes cantidades de queso que son producidas a nivel mundial, el suero de leche ha generado un problema de contaminación ambiental.

Estudios en animales y humanos sugieren que la proteína de suero de leche y sus componentes pueden tener efectos beneficiosos. Éstos incluyen actividad antimicrobiana y antiviral, la actividad inmune-modulación, actividad anti-cáncer y beneficios para la salud cardiovascular. Por tal motivo, el suero de leche puede ser considerado para la elaboración de alimentos funcionales.

Agradecimientos

La autora M. Hernández-Rojas agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Universidad de las Américas Puebla (UDLAP), por el apoyo y financiamiento de sus estudios de posgrado.

Referencias

- Abd El-Salam, M.H., El-Shibiny, S. y Salem, A. (2009). Factors affecting the functional properties of whey protein products: a review. *Food Reviews International*, 25(3), 251-270.
- Acero, J. L., Benítez F. J., Leal A.I. y Real F. J. (2006). Removal of phenolic compounds in water by ultrafiltration membrane treatments. *Journal of Environmental Science*, 40(8), 1585-1603.
- Aimutis, W. (2004). Bioactive properties of milk proteins with particular focus on anticariogenesis. *Journal of Nutrition*, 134(4), 989-995.
- Alkhatim, H.S., Alcaina M.I., Soriano E., Iborra M. I., Lora J. y Arnal J. (1998). Treatment of whey effluents from dairy industries by nanofiltration membranes. *Desalination*, 119(1), 177-183.
- Begoña, A. y Jiménez, F. (2014). Alimentos cárnicos funcionales; desarrollo y evaluación de sus propiedades saludables. *Nutrición Hospitalaria*, 29(6), 1197-1209.
- Bertoldo, P., Bighetti, E., Antônio, M., Carvalho, J., Possenti, A. y Sgarbieri, V. (2006). Antiulcerogenic activity of fraction and hydrolysate obtained from whey protein concentrate. *Brazilian Journal of Food Technology*, 10(2), 15-22.
- Bogue, J. y Ritson, C. (2000). Market-oriented new product development: functional foods and the Irish consumer. *Department of Food Economics, Agribusiness Discussion P*, 27, 1-35.
- Boots, J. y Floris, R. (2006). Lactoperoxidase: from catalytic mechanism to practical applications. *International Dairy Journal*, 16(11), 1272-1276.
- Bosselaers, I., Caessens, P., Van Boekel, M. y Alink, G. (1994). Differential effects of milk proteins, BSA and soy protein on 4NQO- or MNNG- induced SCEs in V79 cells. *Food and Chemical Toxicology*, 32(10), 905-911.
- Bounous, G. (2000). Whey protein concentrate (WPC) and glutathione modulation in cancer treatment. *Anticancer Research*, 20(6C), 4785-4792.
- Bounous, G., Baruchel, S., Falutz, J. y Gold, P. (1993). Whey proteins as a food supplement in HIV-seropositive individuals. *Clinical and Investigative Medicine*, 16(3), 2004-2009.
- Brans, G., Schroën, C.G.P.H., Sman, R.G.M. y Boom, R. (2004). Membrane fractionation of milk: state of the art and challenges. *Journal of Membrane Science*, 243(1-2), 263-272.
- Callejas, J., Prieto, F., Reyes, V. E., Marmolejo, Y. y Méndez, M. A. (2012). Caracterización fisicoquímica de un lactosuero:

- potencialidad de recuperación de fósforo. *Acta Universitaria*, 22(1), 11-18.
- Chartterton, D., Smithers, G., Roupas, P. y Brodkorb, A. (2006). Bioactivity of β -lactoglobulin and α -lactalbumin-technological implications for processing. *International Dairy Journal*, 16(11), 1229-1240.
- Di Mario, F., Aragona, G. y Dal Bo, N. (2003). Use of bovine lactoferrin for *Helicobacter pylori* eradication. *Digestive and Liver Disease*, 35(10), 706-710.
- Diplock, A.T., Charleux, J.L., Crozier-Willi, G., Kok, F.J., Rice-Evans, C., Roberfroid, M., Stahl, W. y Viña-Ribes, J. (1998). Functional food science and defense against reactive oxidative species. *British Journal of Nutrition*, 80(1), 77-112.
- El-Fakharany, E. M., Tabll, A., El-Wahab, A. A., Haroun, B. M. y Redwan, E. (2008). Potential activity of camel milk-amylase and lactoferrin against hepatitis C virus infectivity in HepG2 and lymphocytes. *Hepatitis Monthly*, 8(2), 101-109.
- Etzel, M. R. (2004). Manufacture and use of dairy protein fractions. *The Journal of Nutrition*, 134(4), 996-1002.
- Farrell, H., Jimenez, R., Bleck, T., Brown, E., Butler, J., Creamer, L., Hicks, C., Hollae, C., Ng-Kwai-Hang, K. y Swaisgood, H. (2004). Nomenclature of proteins of cow's milk: sixth revision. *Journal of Dairy Science*, 87(6), 1641-1674.
- Ganjam, L., Thornton, W., Marshall, R. y MacDonald, R. (1997). Antiproliferative effects of yogurt fractions obtained by membrane dialysis on cultured mammalian intestinal cells. *Journal of Dairy Science*, 80(10), 2325-2339.
- Grey, V., Mohamed, S. R., Smountas, A. A., Bahlool, R. y Lands, L. C. (2003). Improved glutathione status in young adult patients with cystic fibrosis supplemented with whey protein. *Journal of Cystic Fibrosis*, 2(4), 195-198.
- Guerrero, J. R., Ramirez, A. L. y Puente, W. (2011). Caracterización del suero de queso blanco del combinado lácteo santiago. *Tecnología Química*, 31(3), 93-100.
- Jelen, P. (2003). Whey processing. Utilization and products. *Encyclopedia of Dairy Sciences*, 4, 2739-2745.
- Jovanovic, S., Barac, M. y Macej, O. (2005). Whey proteins-Properties and Possibility of Application. *Mljekarstvo*, 55(3), 215-233.
- Lloyd, B. B. (2002). *Whey Child Nutrition_Spanish. El suero de leche de los Estados Unidos y la nutrición infantil*. Recuperado el 15 de Octubre del 2014, de U. S. Dairy Export Council: http://www.usdec.org/files/pdfs/2008monographs/wheychildnutrition_spanish.pdf
- Lollo, P.C.B., Amaya-Farfan, J., Faria, I.C., Salgado, J.V.V., Cha- con-Mikahil, M.P.T., Cruz, A.G., Oliveira, C.A.F., Montagner, P.C. y Arruda M. (2014). Hydrolysed whey protein reduces muscle damage markers in Brazilian elite soccer players compared with whey protein and maltodextrin. A twelve-week in-championship intervention. *International Dairy Journal*, 34(1), 19-24.
- Londoño, M. (2006). Aprovechamiento del suero ácido de queso doble crema para la elaboración de queso utilizando tres métodos de complementación de acidez con tres ácidos orgánicos. *Perspectivas en Nutrición Humana*, 16(1), 11-20.
- Madureira, A. R., Pereira, C., Gomez, A., Pintado, M. y Malcata, F. (2007). Bovine whey proteins: overview on their main biological properties. *Food Research International*, 40(10), 1197-1211.
- Markus, C. R., Oliver, B. y H. F. de Haan, E. (2002). Whey protein rich in α -lactalbumin increases the ratio of plasma tryptophan to the sum of the other large neutral amino acids and improves cognitive performance in stress-vulnerable subjects. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 75(6), 1051-1056.
- Marshall, K. (2004). Therapeutic applications of whey protein. *Alternative Medicine Review*, 9(2), 136-156.
- Marshall, K. R. y Harper W. J. (1988). Whey protein concentrates. *Bulletin of the International Dairy Federation*, 233, 22-32.
- Matin, M. A. y Otani, H. (2000). Release of cytotoxic glycopeptides from human acid casein fraction by the action of stomach proteinases. *Milchwissenschaft*, 55(1), 6-10.
- Mehra, R., Marnila, P. y Korhonen, H. (2006). Milk immunoglobulins for health promotion. *International Dairy Journal*, 16(11), 1262-1271.
- Mendes da Silva, L. (2011). Potential applications of whey proteins in the medical field. En J. S. Reis, J. A. Teixeira, *Engineering Aspects of Milk and Dairy Products* (págs 221-252). Braga, Portugal: Taylor & Francis.
- Morr, C. y Ha, E. Y. (1993). Whey protein concentrates and isolates: processing and functional properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 33(6), 431-439.
- Muro, C., Díaz, C., García, B., Zavala, R. E., Ortega, R. E., Álvarez, R. y Riera, F. (2010). Recuperación de los componentes del lactosuero residual de una industria elaboradora de queso utilizando membranas. *Afinidad: Revista de química teórica y aplicada*, 67(547), 212-220.
- Pan, Y., Lee, A., Wan, J., Coventry, M. J., Michalski, W. P., Shieff, B. y Roginski, H. (2006). Antiviral properties of milk proteins and peptides. *International Dairy Journal*, 16(11), 1252-1261.

- Panesar, P., Kennedy, D., Gandhi, D. y Bunko, K. (2007). Bioutilsation of whey for lactic acid production. *Food Chemistry*, 105(1), 1-14.
- Parra, R. A. (2009). Lactosuero: Importancia en la industria de alimentos. *Revista de la Facultad Nacional de Agricultura de Medellín*, 62(1), 4967-4982.
- Perez, M. D., Sanchez, L., Aranda, P., Ena, J., Oria, R. y Calvo, M. (1992). Effect of β -lactoglobulin on the acidity of pre-gastric lipase. *A possible role for this protein rummiant milk*. *Biochim Biophysica Acta*, 1123(2), 151-155.
- Pescumma, M., E. Hérbet, F. Mozzi y G. Font. (2008). Whey fermentation by thermophilic lactic acid bacteria: Evolution of carbohydrates and protein content. *Food Microbiology*, 25(3), 442-451.
- Poveda, E. (2013). Suero lácteo, generalidades y potencial uso como fuente de calcio de alta biodisponibilidad. *Revista Chilena de Nutrición*, 40(4), 397-403.
- Puyol, P., Pérez, M., Ena, J. y Calvo, M. (1991). Interaction of β -lactoglobulin and other bovine and human whey proteins with retinol and fatty acids. *Agricultural and Biological Chemistry*, 55(10), 2515-2520.
- Rhône-Poulenc, M. (1998). Nutritional and functional characteristics of whey proteins in food products. *Journal of Dairy Science*, 81(3), 597-608.
- Rodrigues, L., Teixeira, J., Schmitt, F., Paulsson, M. y Lindmark Masson, H. (2009). Lactoferrin and cancer disease prevention. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 49(3), 1-15.
- Sekine, K., Ushida, Y., Kuhara, T., Ligo, M., Baba-Toriyama, H., Moore, M. A., Murakoshi, M., Satomi, Y., Nishino, H., Kakinoe, T. y Tsuda, H. (1997). Inhibition of initiation and early stage development of aberrant crypt foci and enhanced natural killer activity in male rats administered bovine lactoferrin concomitantly with azoxymethane. *Cancer Letters*, 143(2), 211-216.
- Sinha, R., C. Radha, J. Prakash y P. Kaul. (2007). Whey protein hydrolysate: Functional properties, nutritional quality and utilization in beverage formulation. *Food Chemistry*, 101(4), 1484-1491.
- Smithers, G. (2008). Whey and whey proteins - From 'gutter-to-gold'. *International Dairy Journal*, 18(7), 695-704.
- Sugahara, T., Onda, H., Shinohara, Y., Horii, M., Akiyama, K., Nakamoto, K. y Hara, K. (2005). Immunostimulation effects of proteose-peptone component 3 fragment on human hybridomas and peripheral blood lymphocytes. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)*, 1725(2), 445-499.
- Thoma-Worriinger, C., Sorensen, J. y López-Fandiño, R. (2006). Health effects and technological features of caseinomacropeptide. *International Dairy Journal*, 16(11), 1324-1333.
- Wakabayashi, H., Yamauchi, K. y Takase, M. (2006). Lactoferrin research, technology and applications. *International Dairy Journal*, 16(11), 971-981.
- Walzem, R. L., Dillard, C. J. y German, J. B. (2002). Whey components millenina of evolution create functionalities for mammalian nutrion what we know and what we may be overlooking. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 42(4), 353-375.
- Wang, Q., Allen, J. y Swaisgood, H. (1997). Binding of vitamin D and cholesterol to β -lactoglobulin. *Journal Dairy Science*, 80(6), 1054-1059.
- Warme, P., Momany, A., Rumball, S., Tuttle, R. y Scheraga, H. (1974). Computation of structures of homologous proteins. α -Lactalbumin from lysozyme. *Biochemistry*, 13(4), 768-772.
- Wit, J. (2003). Dairy ingredients in non-dairy foods. En F. Francis, *Encyclopedia of Food Science and Technology* (págs. 718-727). New York: Wiley.