

Aprovechamiento del lactosuero y sus componentes como materia prima en la industria de alimentos

Use of whey and its components as raw material in the food industry

Motta-Correa Yeisson O. *, Mosquera M. Welner J.

Programa Ingeniería de Alimentos, Facultad de Ingenierías, Universidad de la Amazonia, Florencia, Caquetá, Colombia

Recibido 13 Febrero de 2015; aceptado 05 Abril de 2015

RESUMEN

El suero de la leche es un subproducto de la industria láctea con un gran potencial para la utilización de componentes con valor agregado en la industria alimentaria, sin embargo el desaprovechamiento y mal manejo genera gran contaminación ambiental. El objetivo del presente artículo es compilar información técnica y científica que permita definir y caracterizar el suero lácteo, así como describir el aprovechamiento del lactosuero a nivel global para su utilización en la industria alimentaria. El manuscrito contiene información sobre las características fisicoquímicas y bromatológicas del lactosuero, su diferencia con la leche de vaca y el queso blanco, se describe los tipos de lactosuero, los avances industriales en técnicas para el aislamiento de los componentes del suero lácteo (concentrados, hidrolizados, microorganismos, aislados), así como la utilización del lactosuero y sus componentes en la industria alimentaria. Son muchas las posibilidades de aprovechamiento del suero lácteo, entre las que se encuentran la obtención de componentes principales como proteína, lactosa, grasa y agua, a partir de procesos como la filtración por membranas, la hidrólisis, la fermentación y aprovechamiento biológico a partir de microorganismos. Así mismo, la utilización del suero lácteo o sus componentes permiten incrementar el margen de rentabilidad de las empresas queseras, reducir la contaminación ambiental y una alta posibilidad de convertirse en sustitutos lácteos en la industria alimentaria.

Palabras clave: *Concentrado proteico, hidrólisis, lactosa, nutrición, producto lácteo.*

ABSTRACT

The whey is a by-product of the dairy industry with great potential for the use of components with value added in the food industry, however the waste and bad

management causes environmental pollution. The aim of this article is to compile technical and scientific information that will allow to define and characterize the whey, as well as describe the industrial progress at the global level in the use of whey for use in the food industry. The manuscript contains information on the physicochemical and bromatological characteristics of whey, its difference with cow's milk and cheese, described the types of whey, industrial advances in techniques for the isolation of components of whey (concentrates, hydrolyzed, microorganisms, isolated), as well as the use of whey and its components in the food industry. There are many possibilities of utilization of whey, which include obtaining major components like protein, lactose, fat, and water from processes such as membrane filtration, hydrolysis, fermentation and biological utilization from microorganisms. Likewise, the use of whey or its components allow increasing the margin of profitability of companies cheese, reduce environmental pollution and a high chance of becoming dairy substitutes in food industry.

Keywords: *Protein concéntrate, hydrolysis, lactose, nutrition, dairy product.*

INTRODUCCIÓN

El suero de la leche es uno de los residuos más representativos de la industria lechera, por cada kilogramo de queso, se producen aproximadamente nueve litros de efluente (85-90% del volumen de la leche), siendo el suero uno de los contaminantes más severos que existen a nivel ambiental (González-Siso, 1996; González-Martínez, 2002; Miranda, 2007; Cuellas, 2008; Cury *et al.*, 2014). Anualmente se producen entre 110 y 115 millones de toneladas métricas de lactosuero (Revillon *et al.*, 2003; Londoño 2006; Parra, 2009; Cury *et al.*, 2014). De este valor el 47% se desecha en los ríos, lagos, acuíferos o en el subsuelo generando problemas de eutroficación acuática (Londoño 2006; Parra, 2009; Cury *et al.*, 2014).

Para Muñoz (2007) y Alvarado-Carrasco & Guerra (2008), el suero de la leche se obtiene en el proceso de la elaboración de queso cuando a la leche líquida, previamente pasteurizada, se le añade el cuajo (una enzima que hace coagular la leche) cuyo resultado es una masa semisólida rica en caseína y grasa, que tras su maduración y secado, se convertirá en queso; una vez se retira esa masa semisólida, lo que queda es el suero de

la leche: un líquido de color amarillo verdoso y de sabor ácido pero agradable. Se trata, por tanto, de la parte que no se coagula por la adición del cuajo y que permanece en estado líquido. El suero es definido como un líquido remanente tras la precipitación y separación de la caseína de la leche durante la elaboración del queso y constituye aproximadamente el 85 al 90% del volumen de la leche, cuyos componentes principales como la lactosa, el calcio, sales minerales y proteínas lacto-séricas (lactoalbúmina, lactoglobulina) de bajo peso molecular solubles en su punto isoelectrico son retenidas en un 55% ya que no reaccionan con el cuajo (Charles & Radjai., 1977; González-Siso, 1996; Uribe *et al.*, 2001, Parra, 2009).

Sevilla (2004), describe al suero de la leche como una proteína de muy elevada calidad. Aunque existen distintos tipos de proteína de leche, las que poseen mejor calidad son las que se obtienen por medio de procesos como el intercambio iónico y la microfiltración. Aunque el suero de la leche puede aislarse de otras formas, generalmente resulta en fórmulas con un contenido muy elevados de lactosa

además de que contienen demasiada grasa y ceniza.

El fraccionamiento de los principales constituyentes del suero representa una alternativa para la disminución de la demanda biológica y química en las plantas de tratamiento y es una fuente de obtención de constituyentes de mayor importancia comercial para la obtención de derivados lácteos (Artavia-Porras, 1996; Chollangi, 2007).

La presente revisión tiene como objetivo compilar información técnica y científica que permita definir y caracterizar el suero lácteo, así como describir el aprovechamiento del lactosuero a nivel global para su utilización en la agroindustria alimentaria.

Características fisicoquímicas del lactosuero y diferencia con la leche

Pese a que el suero de la leche es obtenido a partir de esta, los dos presentan diferencias en cuanto a sus características fisicoquímicas y de composición como se expone a continuación. El suero lácteo o lactosuero, posee un alto valor nutritivo, contiene más del 50% de los sólidos de la leche, incluyendo proteínas, lactosa, minerales y vitaminas (Atra et al., 2005; Buitrago et al., 2008; Smithers, 2008; Conti et al., 2012). En términos de masa, el lactosuero contiene cerca del 50% de los sólidos totales de la leche, el 25% de las proteínas, el 7% de la grasa y cerca del 95% de la lactosa, dependiendo del contenido de humedad en el queso, además de contener cerca del 50% de los minerales (International Dairy Federation, 1991; Inda, 2000). El lactosuero está constituido principalmente por lactosa (75%), una azúcar relativamente insoluble, de bajo poder edulcorante, que no siempre puede ser absorbida por el sistema digestivo humano (Alvarado-Carrasco & Guerra, 2010; Cuellas & Wagner, 2010).

Las principales proteínas del suero de la leche son: beta-lactoglobulina (β -Lg) y alfa-lactalbúmina (α -LA), con una proporción de 3:1, mientras que las inmunoglobulinas, la seroalbúmina, las peptonas-proteasa, lactoferrina y transferrina, complementan la composición proteica de este derivado; adicionalmente el lactosuero contiene una porción hidrosoluble de la Kappa-caseína conocida como Glicomacropéptido (GMP) el cual representa entre

el 20 al 25% de la proteína disuelta en el suero (Conti et al., 2012; Granda-Restrepo et al., 2014).

Entre los minerales del lactosuero sobresale el potasio, seguido por el calcio, fósforo, sodio y magnesio. Cuenta además con vitaminas del grupo B (tiamina, ácido pantoténico, riboflavina, piridoxina, ácido nicotínico, cobalamina) y ácido ascórbico, donde el ácido pantoténico y el ácido ascórbico presentan las mayores concentraciones con 3,4 y 2,2 mg/ml respectivamente (Linden & Lorient, 1996; Londoño et al., 2008).

Es de resaltar que no todos los sueros son iguales, una de las principales diferencias entre ellos está en su composición, que depende no solamente de la composición de la leche para quesería y del contenido de humedad del queso, sino de manera muy significativa del pH al cual el lactosuero se separa de la cuajada (París, 2009). De igual manera, Inda (2000), refiere que la distribución de sólidos de la leche entre queso blanco y lactosuero depende principalmente de tres factores: 1) la composición de la leche, 2) la composición deseada del queso y 3) la eficiencia de la transferencia de dichos componentes, mientras que París (2009), refiere que en la composición del lactosuero intervienen cinco factores: 1) la tecnologías de elaboración del queso, 2) la composición de la leche, 3) el tratamiento del calor del lactosuero, 4) el almacenamiento del lactosuero y 5) el tipo de queso a procesar.

Tabla 1
Distribución porcentual de los sólidos en la leche, el queso blanco y el lactosuero

Componente	Leche	Queso Blanco	Lactosuero
Proteínas (%)	3,1	2,3	0,8
Grasa (%)	3,4	3,1	0,3
Lactosa (%)	4,7	0,2	4,5
Minerales (%)	0,9	0,50	0,4
Total	12,1	6,1	6,0

Fuente: Adaptado de Inda (2000).

De acuerdo a la tabla 1, los componentes totales de la leche se distribuyen casi por igual entre el queso blanco y el lactosuero, por lo cual Inda (2000), reconoce que es fundamental darle un uso con valor agregado al lactosuero, preferiblemente para consumo humano. No obstante, el suero presenta menor valor proteico que la leche, menor contenido de grasa y cerca de la mitad de los minerales de la

leche, además que las proteínas del lactosuero son insolubles y no asimilables por el tracto digestivo humano, las cuáles según Conti *et al* (2012), generan incluso alergias principalmente en menores de tres años debido al elevado contenido de beta-lactoglobulina. En este sentido, es necesario realizar procesos que maximicen el aprovechamiento de dichas proteínas y otros componentes del lactosuero para el consumo humano o como materias prima para la tanto para la industria de alimentos como para otras industrias. Para Zadow (1992); Jelen (2003); y Panesar (2007), existen dos tipos de lactosuero: dulce y ácido, mientras que Paris (2009), refiere que existen tres tipos de lactosuero a saber: Lactosuero dulce, lactosuero ácido y lactosuero salado; el lactosuero dulce posee un pH entre 5,6 y 6,3 y es obtenido como subproducto de la elaboración de quesos duros, semiduros y ciertos quesos blandos, en los cuáles es utilizado el cuajo como insumo principal; el lactosuero ácido presenta un pH que oscila entre los 4,4 a 5,1 y es obtenido al precipitar la caseína y formar el cuajo mediante la adición de ácido láctico y el lactosuero salado se genera al añadir sal a la leche o al mismo lactosuero durante el proceso de elaboración del queso. Guerrero-Rodriguez *et al.*, (2010) y Sanchez-Sanchez *et al.*, (2009), realizaron la caracterización fisicoquímica y bromatológica del suero de leche, en donde identificaron a composición media de diferentes tipos de lactosuero (Tabla 2).

Tabla 2
Caracterización fisicoquímica y bromatológica del suero sin tratamiento. (Adaptado por los autores)

Parámetro	Suero dulce ¹	Suero ácido ¹	Suero ácido-salado ²
Agua (%)	93–95	93–95	-
Extracto seco (%)	5–7	5–7	-
Lactosa (%)	4,5–5,3	3,8–5,2	-
Proteínas (%)	0,6–1,1	0,2–1,1	0,86±0,04
Grasa (%)	0,1–0,4	0,1–0,5	0,32±0,03
Sales minerales	0,5–0,7	0,5–1,2	0,61±0,03
Valor pH	6,45	5,0	6,12±0,01

Adaptado de: ¹ Guerrero-Rodriguez *et al.* (2010) y ² Sanchez-Sanchez *et al.* (2009).

De igual manera, Sanchez-Sanchez *et al.*, (2009), caracterizaron el precipitado del suero lácteo (concentrado) hallando que posee un tenor de

proteína del 6,58%, grasa del 3,8% y cenizas del 3,34%.

Avances en el aislamiento de los componentes del lactosuero

En la actualidad existen varias tecnologías que puedan ser utilizadas para el aprovechamiento de los componentes del lactosuero, como el proceso de separación por membranas (Serna, 1996; Muñi, *et al.*, 2005; Briao, 2007), hidrólisis (Peñas *et al.*, 2006, Conti *et al.*, 2012; Parra-Huertas & Campos-Montiel, 2013), alternativas de tratamiento anaeróbicos y aeróbicos (Barton *et al.*, 2008; García *et al.*, 2013), tratamientos como electrocoagulación (Arango-Ruiz & Garcés-Giraldo, 2008) y precipitación del lactosuero con ácido tricloroacético para la obtención de Glicomacropéptido – GMP (Rojas *et al.*, 2009). Dentro de estas tecnologías se considera que los tratamientos anaeróbicos son más económicos que los aeróbicos convencionales, ya que, aunque son más lentos, demandan poca energía (Gizen, 1996). A pesar de la diversidad de tecnologías propuestas, no se ha desarrollado un proceso rentable para el tratamiento de los grandes volúmenes de suero producidos cada año (González, 1996).

Concentrados obtenidos por membranas

Para Serna (1996) y Souza *et al.*, (2008), en la industria láctea y quesera están siendo utilizados diferentes procesos con membranas y otras técnicas que como refiere Parra-Huertas & Campos-Montiel (2013), permiten obtener cargas de contaminación menos elevadas en los efluentes, beneficios económicos con la separación de proteínas y otros componentes, e incluso la recuperación de agua del suero de la leche para su reutilización en el consumo directo. Los procesos de membranas permiten la concentración de los alimentos, siendo la industria láctea la de mayor utilización de esta tecnología, donde la separación de los componentes se realiza mediante la aplicación de una diferencia de presión entre las dos fases fluidas (Flores-Cadena, 2014).

Entre las ventajas que posee la tecnología de membranas se destacan: mantenimiento de la

calidad nutricional y sensorial de los alimentos debido a las bajas temperaturas de operación, bajo costo de operación, requieren poco espacio y poseen amplia flexibilidad de operación. La limitante de la tecnología es el deterioro y la suciedad progresiva de la membrana, por lo cual requiere ser reemplazada con periodicidad (Flores-Cadena, 2014).

Entre las principales técnicas de membranas empleadas en la industria láctea se encuentran: 1) la *microfiltración* para reducir la población de bacterias y el contenido graso del lactosuero, 2) *ultrafiltración* para concentración de proteínas del lactosuero y normalización de proteína de la leche destinada a elaboración de yogurt, queso y otros productos lácteos, 3) *osmosis inversa* en la recuperación de proteínas, lactosa y concentración de enzimas y 4) *nanofiltración* para la desalinización del suero que permiten obtener concentrados proteicos (WPC) (Muñi *et al.*, 2005; Riquelme, 2010; Flores-Cadena, 2014), permitiendo pasar materiales de bajo peso molecular como agua, iones y lactosa, mientras retiene materiales de peso molecular elevado como las proteínas, este retenido según Zadow (2003) y Muni *et al.*, (2005), es concentrado por evaporación y liofilización conteniendo más del 25% de proteína y es denominado WPC.

El WPC es definido por el código de Estados Unidos de Regulaciones Federales como la sustancia obtenida por la eliminación de suficiente constituyente no proteico a partir de lactosuero para que el producto seco final contenga no menos del 25% de proteína. La mayoría de los WPC en el mercado contienen 34-35% o aproximadamente 80% de proteína (Foegeding y Luck, 2002; Parra, 2009).

De acuerdo con Souza *et al.*, (2008), los procesos que incluyen fraccionamiento y concentración de proteínas debe considerar la recuperación de la lactosa que es el principal componente orgánico del lactosuero. Por tal razón, para la obtención de concentrados proteicos y lactosa de excelente calidad y alto valor agregado, es importante la eliminación de grasas del suero de queso, donde la microfiltración es muy utilizada. Esta eliminación es considerada esencial porque las grasas constituyen uno de los agentes de saturación que pueden

contribuir, por ejemplo, para la disminución del flujo en el proceso con membranas, lo que puede ocasionar la obtención de productos con sabores alterados durante el almacenamiento (Souza *et al.*, 2008).

Farias-Reyes *et al.*, (2003), evaluaron la eficiencia de concentración de proteína y lactosa del lactosuero mediante ultrafiltración y nanofiltración encontrando que los permeados de la ultrafiltración y nanofiltración contenían 7,31 y 5,47% de sólidos totales respectivamente, de los cuáles el 71,13 y el 70,46 fue lactosa respectivamente, a partir de lo cual se logró obtener concentrados proteicos con un contenido de sólidos totales de 20,29%, en donde el 29,17% era lactosa y el 51,84% era proteína, lo cual permite inferir que tanto la ultrafiltración como la nanofiltración son métodos adecuados para la obtención de concentrados proteicos y de lactosa. De igual manera, Muro-Urista *et al.*, (2010), hallaron que la nanofiltración permite recuperación de proteínas entre el 70 y 80% donde influye la temperatura y el umbral de corte de la membrana (150 y 15 KDa), siendo mayor la recuperación con membrana de 15 KDa y temperatura de 30 °C.

Del mismo modo, Muñi *et al.*, (2005), encontraron que el máximo rendimiento obtenido en el proceso de ultrafiltración fue de 71,69% de donde se obtuvo concentrados de 3,28% p/p de proteína, mientras que el proceso de nanofiltración para retención de lactosa se obtuvo un rendimiento de 76,47% y un concentrado de 1,82% p/p en lactosa, lo cual demuestra que los procesos combinados de nanofiltración y ultrafiltración son más útiles por generar mayor aprovechamiento de los componentes del lactosuero.

Sin embargo, Souza *et al.*, (2008), a partir de centrifugación (25° C y 1 bar) del lactosuero para la eliminación de la grasa (60-80%) y posterior proceso de microfiltración lograron una recuperación del 90% de proteínas y lactosa, siendo por tanto una tecnología apropiada para la obtención de los principales componentes del lactosuero.

Hidrolizados

Debido a que en los procesos de fracción proteica se retiene gran cantidad de lactosa, que es un

azúcar poco atractivo por sus características de baja solubilidad, bajo poder edulcorante y el hecho que muchas personas presentan problemas para digerirla, no se ha podido aprovechar toda la capacidad instalada en las industrias lácteas para obtener fracciones de alta concentración (París, 2009), una forma para resolver estos inconvenientes es la implementación del proceso de la hidrólisis ácida o enzimática de la lactosa durante el proceso de concentración (Bernal & Pavel, 1985; Axelsson & Zacchi, 1990; Foda & López-Leiva, 2000; Carminatti *et al.*, 2003; Conti *et al.*, 2012; Beltrán y Acosta, 2012).

La hidrólisis enzimática puede ser usada para cambiar las condiciones requeridas para la gelificación. En esta aplicación, el proceso es diseñado para producir péptidos con estructuras que son diferentes comparadas con aquellas proteínas intactas, pudiendo así reducir la alergenicidad, realzando propiedades funcionales y biológicas, además modifica la solubilidad, foaming y emulsificación de las proteínas de lactosuero. Al respecto, la hidrólisis puede mejorar la estabilidad y habilidad de formar espuma al incrementar la cantidad de aire incorporado, además pueden ser aplicados para incrementar la estabilidad de emulsión y cambiar las condiciones requeridas para la gelificación (Foegeding & Luck, 2002).

Santana *et al.*, (2008), refiere que es posible hidrolizar proteína del suero lácteo a partir de la utilización de *Bacillus subtilis* y pancreatina, obteniendo oligopéptidos con un rendimiento del 37,12%. También es posible la utilización de enzimas producidas por *spergillus niger*, *Aspergillus oryzae* y *Kluyveromyces sp.*, (*lactis* o *fragilis*) que son considerados fuentes seguras de utilización (Beltrán & Acosta, 2012). La hidrólisis ácida de la lactosa es de vital importancia para el empleo del efluente en la industria alimenticia, ya que produce glucosa y galactosa, una mezcla que presenta mayor solubilidad, mayor poder edulcorante y es de fácil absorción por la mucosa digestiva (Zadow, 1984; Barnes, 1994; Cuellas, 2005; Beltrán & Acosta, 2012).

Microorganismos

Para la producción y recuperación tanto de ácido láctico como ácido cítrico a partir del suero lácteo

se han empleado microorganismos eficientes, siendo el *lactobacillus casei* y el *Apergillus niger* respectivamente los microorganismos más representativas para la regeneración de otros macrocompuestos presentes en el suero (Sanchez-Sanchez, *et al.*, 2009; Leal *et al.*, 2010).

Sanchez-Sanchez *et al.* (2009), utilizaron microorganismos eficientes tipo lactobacilos sobre suero salado que propició la separación de dos fases, una fase inferior o precipitada representada por el 7,1% donde se observa un incremento de la proteína que pasó de 0,86% en suero lácteo líquido a 6,58% en la fase precipitada después del tratamiento. En la segunda fase que se presentó en estado líquido se caracterizó por disminuir la demanda química de oxígeno (DQO) en un 98% lo cual disminuye el riesgo de contaminación ambiental.

Riquelme (2010), estableció parámetros para la obtención de un concentrado proteico por separación con membrana a partir del lactosuero; el proceso empleado consistió en realizar la filtración por para retirar los sólidos del producto, luego se procedió al descremado del lactosuero por centrifugación a 4.000 G a una temperatura de 35-50 °C, finalmente el fluido está listo para entrar al proceso de ultrafiltración por membrana, en donde se obtiene el permeado que corresponde a la fracción de proteínas que por su tamaño pueden traspasar la membrana y el retenido que es el concentrado de proteínas del suero, que por su tamaño no logran atravesar la membrana.

Paris (2009), utilizó cepas bacterianas como *Xanthomonas campestris*, *Agrobacterium radiobacter*, *Aurobasidium pullulans* para la obtención de Exopolisacáridos (EPS) como goma Xantana, curdiano y pululano respectivamente, a partir de lactosueros fermentados que permitieran la optimización de condiciones de cultivo para el uso completo de la lactosa a partir de la hidrólisis con β -galactosidasa para la producción de biopolímeros de interés industrial. Estos exopolisacáridos microbianos poseen un amplio abanico de aplicaciones industriales como emulsionantes y estabilizantes de alimentos. La enzima β -galactosidasa purificada a una concentración de 1000 ppm fue obtenida de *Kluyveceromyces lactis* y *Kluyveceromyces fragilis*.

La mayor concentración de Exopolisacárido obtenido se consiguieron a concentraciones de lactosuero entre el 5 y 6%, obteniendo producciones entre 4,47 y 7,5 g/lit de EPS.

La obtención de polímeros del suero de la leche a partir de bacterias puede ser beneficioso por tres razones: puede mejorar este residuo industrial para producir un producto de valor añadido, puede ayudar a disminuir el problema de contaminación ambiental y puede eliminar los costos del tratamiento requerido para el suero antes de desecharlo (Paris, 2009).

Dos procesos han sido desarrollados en la producción de levaduras destinadas a la panificación, en el primero la lactosa es hidrolizada utilizando β -galactosidasa y la glucosa y galactosa son consumidas simultáneamente por la levadura. El segundo proceso utiliza un sistema de fermentación en dos etapas; en el estado inicial, las bacterias ácido lácticas convierten lactosa a lactato y este es consumido en la segunda etapa por la levadura. Finalmente la biomasa puede ser degradada biológica o mecánicamente para eliminar componentes celulares los cuáles pueden purificar o transformarse a productos de alto valor agregado (Mawson, 2003).

Aislados

Los aislados de proteína de lactosuero (WPI) tienen como características importantes un 90% de proteína y entre 4-5,5% de agua (Parra, 2009). Por su alta pureza, los WPI son usados extensivamente en suplementación nutricional, bebidas deportivas y medicinales (Foegeding y Luck, 2002; Parra, 2009). Han sido empleados como proteínas de alimentos funcionales en formulaciones de alimentos, por sus propiedades de hidratación, gelificación, emulsificación, y propiedades para formación de espuma de WPI (Foegeding & Luck, 2002; Nicorescu *et al.*, 2009), además, estos productos son elaborados para la aplicación de agentes complejantes específicos los cuales se enlazan con proteínas, permitiendo su eliminación de lactosuero, utilizando absorbentes como carboxy-metil celulosa u óxidos inorgánicos (Zadow, 2003).

Parra (2009), menciona que Hernández *et al.* (2009) añadieron gelatina que es subproducto de la industria del cuero a WPI creando un incremento

sinergista antimicrobiano, igualmente incorporando nano-arcillas en películas basadas en WPI, se puede extender la vida útil de los alimentos, mejorando la calidad cuando se utilizaron empaques con estas características.

Utilización del lactosuero y sus componentes en la industria alimentaria mundial

El aprovechamiento del lactosuero eleva la rentabilidad de la operación de los queseros, siendo que en los últimos años se han desarrollado alternativas para la recuperación de los nutrientes de alta calidad (Paris, 2009). Las características y composición del efluente (suero lácteo) permiten diseñar un abanico de opciones para el desarrollo de productos alimenticios. El criterio de selección para la elaboración de algunos de estos productos debe adecuarse a las necesidades y posibilidades de los establecimientos queseros, y considerar aspectos fundamentales, como el costo del proceso, el tiempo de producción y la posibilidad de ingresar el producto obtenido en el mercado (Cuellas & Wagner, 2010).

Existen una amplia variedad de productos que se pueden obtener a partir del lactosuero, como ricotta, queso tipo mysost, concentrados proteicos, suero en polvo y bebidas energéticas. El nivel de aprovechamiento de este efluente se relaciona con la factibilidad de estos productos y la utilización de sus componentes (Paris, 2009). De acuerdo con Panesar *et al.*, (2007), de los 63,25 millones de toneladas métricas de lactosuero mundial, cerca del 45% es usado directamente en forma líquida, 30% en polvo, 15% como lactosa y subproductos y el restante como concentrados de proteína de lactosuero.

Entre los productos de exitosa aceptación debido a sus bajos costos de producción, grado de calidad alimenticia y aceptable sabor, se encuentran las bebidas refrescantes (Londoño *et al.*, 2008), bebidas fermentadas y alcohólicas, proteína unicelular, biopelículas, producción de ácidos orgánicos, concentrados de proteínas, derivados de lactosa, entre otros (Koutinas *et al.*, 2009; Almeida *et al.*, 2009).

Cuellas & Wagner (2010), a partir de un proceso de reconstitución del suero lácteo mediante hidrólisis

enzimática de la lactosa, formularon una bebida láctea hidrolizada sabor naranja de pH ácido con un sencillo proceso de elaboración, la cual fue clasificada como una bebida isotónica y con una amplia aceptación por un panel sensorial.

Los concentrados de proteína del lactosuero (WPC) que contienen aproximadamente el 35% de proteína son elaborados como sustitutos de leche descremada, y son utilizados en la elaboración de yogurt, queso procesado, en varias aplicaciones de bebidas (Foegeding & Luck, 2002), salsas, fideos, galletas, helados, pasteles (Muñi *et al.*, 2005), derivados lácteos, panadería, carne, bebidas, y productos de formulaciones infantiles debido a las

propiedades funcionales excelentes de sus proteínas y sus beneficios nutricionales (Foegeding & Luck, 2002; Díaz *et al.*, 2004), resaltando que los WPC contienen un 80% de proteína, son formulados para aplicaciones como gelificación, emulsificantes y formación de espuma (Foegeding & Luck, 2002).

El lactosuero en polvo es bien conocido como ingrediente en la industria de la panificación por resaltar su sabor y cualidades de calidad. Volumen, textura, corteza y retención de frescura en el pan de trigo, son características proporcionadas por la incorporación de una combinación de emulsificantes y lactosuero en polvo (Wit, 2003).

CONCLUSIONES

El lactosuero es un subproducto de la industria quesera con un elevado potencial para la obtención de productos y componentes con valor agregado. Por tal razón es necesario profundizar los procesos de investigación y mejoramiento en la eficiencia y rendimiento de las técnicas y tecnologías para el aprovechamiento tanto del lactosuero como sus componentes para emplearlos en la industria de alimentos o incluso en la industria farmacéutica como diluyentes, emulsificadores o protectores de compuestos farmacológicos.

Existen diferentes formas de aprovechamiento del suero lácteo, entre las que se encuentran la obtención de componentes principales como proteína, lactosa, grasa y agua, a partir de procesos

como la filtración por membranas, la hidrólisis, la fermentación y aprovechamiento biológico a partir de microorganismos. No obstante, es posible utilizar el aislado de estos componentes del lactosuero como materia prima en la industria de alimentos para la fabricación de bebidas energéticas, nutricionales, medicinales, quesos tipo Ricotta y Mysost, suero en polvo, productos de panadería, helados, pasteles, entre otros.

Así mismo, la utilización del suero lácteo o sus componentes permiten incrementar el margen de rentabilidad, reducir la contaminación ambiental y una alta posibilidad de convertirse en sustitutos lácteos en la industria alimentaria.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, K.E., A.Y. Tamime And M.N. Oliveira. (2009). Influence of total solids contents of milk whey on the acidifying profile and viability of various lactic acid bacteria. *LWT - Food Science and Technology* 42(2): 672–678.

Alvarado-Carrasco, C., & Guerra, M. (2008). Lactosuero como fuente de péptidos bioactivos. *Anales Venezolanos de Nutrición*, v. 23, n. 1, p. 42-49.

Arango-Ruiz, A. De J., Y Garcés-Giraldo, L.F. (2008) Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea por electrocoagulación. En: *Ingeniería Química*. 2008, no. 458, p. 180-186.

Artavia-Porras, W. (1996). Elaboración de queso ricotta a partir de suero lácteo. Trabajo de grado Ingeniero Agrónomo. Guácimo Costa Rica: Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmerda, 1996. 54 p.

- Atra, R.; Vatai, G.; Bekassy-Molnar, E.; Balint, A. (2005). Investigation of ultra-and nanofiltration for utilization of whey protein and lactose. En: Journal of Food Engineering. 2005,67(3):325-332.
- Axelsson, A., Zacchi, G. (1990). Economic evaluation of the hydrolysis of lactose using immobilized β -galactosidase. Applied Biochemistry and Biotechnology. v. 24/25, p. 679-693.
- Barnes, L. (1994). Manual en nutrición en pediatría. 3a. ed. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana.
- Barton, J.R., Issaias, I. And Stentiford, E. (2008). Carbon-Making the right choice for waste management in developing countries. En: Waste Management. November, 2008, vol. 28, no. 4, p.690-698.
- Beltrán, L.J., Acosta, A.C. (2012). Empleo de una β -galactosidasa comercial de *Kluyveromyces lactis* en la hidrólisis de lactosuero. Hechos Microbiol, v 3, n. 2, p. 25-35.
- Bernal, V., Pavel, J. (1985). Lactose hydrolysis by *Kluyveromyces lactis* β -D-galactosidase in skim milk, whey, permeate and model system. Canadian institute of food science and technology journal. v. 18, p. 97-99.
- Briao, V.B. (2007). Procesos de separação por membranas para reuso de efluentes de laticínios. Tesis de Doutorado. Brasil: UEM, Maringá. Departamento Engineering Chemical.
- Buitrago, G., Soto, L., Páez, G., Araújo, K., Mármol, Z., & Rincón, M. (2008). Continue production of single cell protein of *Kluyveromyces marxianus* var *marxianus* from diluted cheese whey. Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia, v. 31, n. especial, p. 107-113 disponible en:
<http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702008000400013&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0254-0770.
- Carminatti, C.A., Cunha-Petrus, J.C., Marques-Porto, L. (2003). Hidrólise enzimática da lactose em reator à membrana. Anais do XIV simposio Nacional de Fermentacoes, Florianópolis, Brasil.
- Charles, M., Radjai, M.K. (1977). Xanthan gum from acid whey. In Extracellular Microbial Polysaccharides. Eds Sandford P.A and Laskin A. Washington D.C. American Chemical Society, p. 27-39.
- Chollangi, A.H. (2007). Separation of proteins and lactose from dairy wastewater. En: Chemical Engineering and Processing. May, 2007, vol. 46, no. 5, p. 398-404.
- Conti, J., Ceriani, M., Juliarena, M., Estaban, E. (2012). Perfil proteico y peptídico de una base fluida para bebidas funcionales obtenidas por fermentación de lactosuero. Información Tecnológica, v. 23, n. 2, p. 61-70.
- Cuellas, A., Wagner, J. (2010). Elaboración de bebida energizante a partir de suero de quesería. Revista del laboratorio tecnológico del Uruguay, N° 5, p. 54-57.
- Cuellas, Anahí. (2005). Estudio de un reactor con enzimas inmovilizadas para el procesamiento de suero de quesería. Santa Fe: Universidad Nacional del Litoral, (Tesis de Maestría).
- Cury, K., Arteaga, M., Martínez, G., Luján, D., & Durango, A. (2014). Evaluación de la fermentación del lactosuero ácido (entero y desproteinado) utilizando *Lactobacillus casei*. Revista Colombiana de Biotecnología, v. 26, n. 1, p. 137-145.
- Farias-Reyes, J., García, A.C.U., García, A.C. (2003). Eficiencia en la concentración de la proteína del lactosuero con una planta móvil de ultrafiltración y nanofiltración. Revista Científica FCV-LUZ, v, 13, n. 5, p 347-351.
- Flores-Cadena, C.A. (2014). Obtención de una bebida láctea a partir del concentrado proteico de la mazada o suero de la mantequilla por medio de tecnología de membranas. Trabajo de grado, Ingeniería Agroindustrial, Facultad de Ingeniería, Química y Agroindustria, Escuela Politécnica Nacional, Quito Ecuador. 173 pp.
- Foda, M.I., López-Leiva, M.H. (2000). Continuous production of oligosaccharides from whey using a membrane reactor. Process Biochemistry. v. 35, p. 581-587.
- Foegeding, E. y Luck, P. (2002). Whey protein products. 1957-1960. In: Caballero, B., L. Trugo, P. Finglas (eds.). Encyclopedia of Foods Sciences and Nutrition. Academic Press, New York.

- García, C., Arrázola, G., Villalba, M. (2013). Producción de ácido láctico de lactosuero suplementado utilizando *Lactobacillus casei*. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, v. 11, n. 1, p. 136-143.
- Gizen, H. Anaerobic wastewater treatment: An important step in rational re-use strategies of nutrients and energy. En: Seminario Taller Latinoamericano sobre el Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales. (4: Bucaramanga, Colombia). Memorias. Bucaramanga. 1996.
- González-Siso, M.I. (1996). The biotechnological utilization of cheese whey: a review. En: *Bioresource Technology*. 1996, vol. 57, no. 1, p. 1-11.
- González-Martínez, C.; Becerra, M.; Cháfer, M.; Albors, A.; Carot, J.M.; Chiralt, A. (2002). Influence of substituting milk powder for whey powder on yoghurt quality. En: *Trends in Food Science & Technology*. 13(9-10):334-240.
- Granda-Restrepo, D., Medina-Pineda, Y., Culebras-Rubio, M., & Gómez-Clari, C. (2014). Desarrollo y caracterización de una película activa biodegradable con antioxidantes (alfa-tocoferol) a partir de las proteínas del lactosuero. *VITAE Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, v. 21, n. 1, p. 11-19.
- Guerrero-Rodríguez, W.J., Gomez-Aldapa, C.A., Castro-Rosa, J., González-Ramírez, C.A., Santos-Lopez, E.M. (2010). Caracterización fisicoquímica del lactosuero en el valle de Tulancingo. XII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Guanajuato, México. p. 321-328.
- Hernández, E., M. Taylor, J. Phillips, W. Marmer and E. Brown. (2009). Properties of biopolymers produced by transglutaminase treatment of whey protein isolate and gelatin. *Bioresource Technology* 100(14): 3638-3643.
- Inda, C.A.E. (2000). Optimización de rendimiento y aseguramiento de la inocuidad en la industria de la quesería. OAS – Organization of American States. México. 160 pp.
- International Dairy Federation. (1991). Factors Affecting The Yield Of Cheese. Special Issue No. 9301. International Dairy Federation, Bruselas, Bélgica.
- Jelen, P. (2003). Whey processing. Utilization and Products. 2739-2745. In: H. Roginski, J.W. Fuquay and P.F. Fox (eds.). *Encyclopedia of Dairy Sciences*. Academic Press, London, UK.
- Koutinas, A., H. Papapostolou, D. Dimitrellou, N. Kopsahelis, E. Katechaki, A. Bekatorou And L. Bosnea. (2009). Whey valorisation: A complete and novel technology development for dairy industry starter culture production. *Bioresource Technology* 100(15): 3734-3739.
- Leal, D., Pico, Y., Castro, J., Guerra, J., & Castro, G. (2010). Producción de ácido cítrico a partir del suero lácteo entero e hidrolizado con *Aspergillus niger*, por vía fermentativa. *Alimentos Hoy*, v 19, n. 19.
- Linden, G. and D. Lorient. (1996). *Bioquímica Agroindustrial: revalorización alimentaria de la producción agrícola*. Editorial Acribia, Zaragoza. España. 454 p.
- Londoño, M. (2006). Aprovechamiento del suero ácido de queso doble crema para la elaboración de quesillo utilizando tres métodos de complementación de acidez con tres ácidos orgánicos. *Perspectivas en nutrición humana. Revista Perspectivas en Nutrición Humana-Escuela de Nutrición y Dietética-Universidad de Antioquia* 16: 11-20.
- Londoño, M., J. Sepúlveda, A. Hernández Y J. Parra. (2008). Bebida fermentada de suero de queso fresco inoculada con *Lactobacillus casei*. *Revista Facultad Nacional Agronomía Medellín* 61(1): 4409-4421.
- Mawson, J. (2003). Fermentation of Whey. pp. 6157-6163. In: Caballero, B. (ed.). *Encyclopedia of Foods Sciences and Nutrition*. Second edition. Academic Press, London.
- Miranda, Oscar. (2007). Elaboración de una bebida fermentada a partir del suero de queso. Características distintivas y control de calidad. En: *Revista Cubana Alimentación y Nutrición*. 2007, 17(2):103-108.
- Muñi, A., G. Paez, J. Faría, J. Ferrer y E. Ramones. (2005). Eficiencia de un sistema de ultrafiltración/nanofiltración tangencial en serie para el fraccionamiento y concentración del lactosuero. *Revista Científica* 15(4): 361–367.
- Muñoz, E. (2007). El suero de leche, una fuente de proteínas poco conocida. En línea. Disponible en: <http://www.dsalud.com>
- Muro-Urista, C., Díaz-Nava, C., García-Gaitán, B., Zavala-Arce, R., Ortega-Aguilar, R., Álvarez-Fernández, R., Riera-Rodríguez, F. (2010). Recuperación del lactosuero residual de

- una industria elaboradora de queso utilizando membranas. *Afinidad*, v. 67, n. 547, p. 212-220.
- Nicorescu, I., C. Loisel, A. Riaublanc, C. Vial, G. Djelveh, G. Cuvelier, J. Legrand. (2009). Effect of dynamic heat treatment on the physical properties of whey protein foams. *Food Hydrocolloids* 23(4): 1209–1219.
- Panesar, P., J. Kennedy, D. Gandhi And K. Bunko. (2007). Bioutilisation of whey for lactic acid production. *Food Chemistry* 105: 1-14.
- Parra-Huertas, R.A., Campos-Montiel, R.G. (2013). Tratamiento de lactosuero ácido en un reactor UASB a diferentes cargas constantes y puntuales. *Producción + Limpia*, v. 8, n. 2, p. 60-71.
- Parra, R.A. (2009). Whey: importance in the food industry. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín*. v. 62, n. 1, p. 4967-4982.
- Paris, R.X. (2009). Obtención de exopolisacáridos de interés industrial a partir del lactosuero y permeatos. Tesis de doctorado. Facultad de microbiología, Universidad de Granada. Granada, España. 246 pp.
- Peñas, E., Prestarno, G., Baeza, M., Martínez, M., y Gomez, R. (2006). Effect of combined high pressure and enzymatic treatments on the hidrolisis and immunoreactivity of dairy whey prot. *Int Dairy J*: v. 16, p. 831-839.
- Revillion, J.P., A. Brandelli And M. Ayub. (2003). Production of yeast extract from whey using *Kluyveromyces marxianus*. *International Journal Brazilian Archives of Biology and Technology* 46(1): 121-127.
- Riquelme, G.L.F. (2010). Desarrollo por ultrafiltración de un concentrado proteico a partir de lactosuero. Trabajo de grado. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C – Colombia. 48 pp.
- Rojas, E., Valbuena, E., Torres, G., García, A., Piñero, M., & Galindo, L. (2009). Aislamiento y rendimiento del GMP mediante precipitación del lactosuero con ácido tricloroacético. *Revista Científica FCV-LUZ*, v. 19, n. 3, p. 295-302.
- Sanchez-Sanchez, G.L., Gil-Garzón, M.J., Gil-Garzon, M.A., Giraldo-Rojas, F.J., Millán-Cardona, L. De. J., Villada-Ramirez, M.E. (2009). Aprovechamiento del suero lácteo de una empresa del norte antioqueño mediante microorganismos eficientes. *Producción + Limpia*, v. 4, n. 2, p. 65-74.
- Santana, M., E. Rolim, R. Carreiras, W. Oliveira, V. Medeiros and M. Pinto. (2008). Obtaining oligopeptides from whey: Use of subtilisin and pancreatin. *American Journal of Food Technology* 3(5): 315-324.
- Serna, L. (1996). Efecto de la utilización de un sistema de ultrafiltración, en el proceso de elaboración de gelatina, sobre la calidad del producto final. Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.
- Sevilla A. (2004). Suero de leche (whey protein) <http://neogym-online.com>
- Smithers, G.W. (2008). Whey and whey proteins. From 'gutterto-gold'. En: *International Dairy Journal*. 2008, 18(7):695-704.
- Souza, R., Gimenes, M., Costa, S., Muller, C. (2008). Eliminación de grasas del suero del queso para obtener proteínas y lactosa. *Inf. Tecnol*, v. 19, n 2, p. 41-50.
- Uribe, José F., et al. (2001). Evaluación de los Microorganismos eficaces (E.M) en producción de abono orgánico a partir del estiércol de aves de jaula. En: *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, v. 14, n. 2, p.164-172.
- Wit, J. (2003). Dairy ingredients in non-dairy foods. 718-727. In: Francis, F. (ed.). *Encyclopedia of Food Science and Technology*. Wiley, New York.
- Zadow, J.G (2003). Protein concentrates and fractions. 6152-6156. In: Francis, F. (ed.). *Encyclopedia of Food Science and Technology*. Wiley, New York.
- Zadow, J.G. (1992). *Whey and lactose processing*. Elsevier Science Publishers LTD: England, pp. 2-5.
- Zadow, J.G (1984). Lactose: properties and uses. En: *Journal of Dairy Science*. 1984, 67(11):2655-2679.