

LACTOSUERO: IMPORTANCIA EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS

WHEY: IMPORTANCE IN THE FOOD INDUSTRY

Ricardo Adolfo Parra Huertas¹

Resumen. El lactosuero de quesería es un subproducto líquido obtenido después de la precipitación de la caseína durante la elaboración del queso. Contiene principalmente lactosa, proteínas como sustancias de importante valor nutritivo, minerales, vitaminas y grasa. La composición y tipo de lactosuero varía considerablemente dependiendo del tipo de leche, tipo de queso elaborado y el proceso de tecnología empleado. La lactosa es el principal componente nutritivo (4,5 % p-v), proteína (0,8% p/v), y lípidos (0,5%). Si en la coagulación de la leche se utiliza enzimas el lactosuero se denomina dulce, y si se reemplaza la enzima por ácidos orgánicos se denomina ácido. Para la industria alimentaria, el lactosuero constituye una fuente económica de proteínas que otorga múltiples propiedades en una amplia gama de alimentos. Los productos del suero, incluyendo la lactosa, mejoran la textura, realzan el sabor y color, emulsifican y estabilizan, mejoran las propiedades de flujo y muestran muchas otras propiedades funcionales que aumentan la calidad de los productos alimenticios. Basados en el valor nutricional del lactosuero, un número de usos comerciales se han obtenido como etanol, ácidos orgánicos, bebidas no alcohólicas, bebidas fermentadas, biomasa, concentrados, aislados e hidrolizados de proteína, películas comestibles, medio de soporte para encapsular sustancias, producción de xantana, enzimas, separación de la lactosa para fines endulzantes en alimentos entre otras aplicaciones.

Palabras claves: Lactosuero, aplicaciones, alimento, proteína, fermentación.

Summary. Cheese whey is a by-product liquid obtained after precipitation of casein during the production cheese. Mainly contains lactose, protein and important nutritional substances, minerals, vitamins and fat. The type and composition of whey varies considerably depending on the type of milk, cheese produced and the process technology used. Lactose is the primary nutritional component (4.5% pv), protein (0.8% w / v) and lipids (0.5%). If the milk clotting enzyme used is called sweet whey, and if the enzyme is replaced by organic acids is called acid. For the food industry, whey is an economic source of protein that gives multiple properties in a wide range of foods. Whey products, including lactose, improve texture, enhance the flavor and color, emulsified and stabilized, improved flow properties and exhibit many other properties that enhance the quality of foodstuffs. Based on the nutritional value of whey and a number of commercial uses have been obtained as ethanol, organic acids, non-alcoholic drinks, fermented beverages, biomass, concentrates, isolates and hydrolysates of protein, edible films, means of support to encapsulating substances, xanthan production, enzymes, separation of lactose for sweeteners in food among other applications.

Key words: Whey, applications, food, protein, fermentation.

La industria láctea es uno de los sectores más importantes de la economía de países industrializados y en desarrollo. Aproximadamente 90% del total de la leche utilizada en la industria quesera es eliminada como lactosuero el cual retiene cerca de 55% del total de ingredientes de la leche como la lactosa, proteínas solubles, lípidos y sales minerales. Algunas posibilidades de la utilización de este residuo han sido propuestas, pero las estadísticas indican que una importante porción de este residuo es descartada como efluente el cual crea un serio problema ambiental (Aider *et al.*, 2009; Fernandes *et al.*, 2009), debido a que afecta física y químicamente la estructura del suelo, lo anterior resulta en una disminución en el rendimiento de cultivos agrícolas y cuando se desecha en el agua, reduce la vida acuática al agotar el oxígeno disuelto (Aider *et al.*, 2009).

Según Almécija (2007) la distribución de la producción de lactosuero en el mundo en el año 2005 fue: Europa 53%, América del Norte y central 28%, Asia 6%, África 5%, Oceanía 4%, América del Sur 4%, anualmente estos porcentajes representan 110-115 millones de tons métricas de lactosuero son producidas a nivel mundial a través de la elaboración de queso (Briczinski y Roberts, 2002; Revillion *et al.*, 2003; Londoño, 2006), de este valor, el 45% se desechan en ríos, lagos y otros centros de aguas residuales, o en el suelo, lo que representa una pérdida significativa de nutrientes ocasionando serios problemas de contaminación (Londoño, 2006). El porcentaje restante es tratado y transformado en varios productos alimenticios, de los cuales cerca del 45% es usado directamente en forma líquida, 30% en polvo, 15% como lactosa y sub-productos, y el resto como concentrados de proteína de lactosuero (Panesar *et al.*, 2007).

¹ Profesor. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, UPTC. Escuela de Ciencias Químicas. Avenida Central del Norte. Tunja, Colombia. <rparrahuertas@hotmail.com>

Recibido: Septiembre 24 de 2008; Aceptado: Abril 16 de 2009

Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín 62(1): 4967-4982. 2009

Considerables esfuerzos han sido realizados en el pasado para explorar nuevas alternativas para la utilización de lactosuero y reducción de la contaminación ambiental (Koutinas *et al.*, 2009). 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).

Según Agrocadenas uno de los observatorios del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia la Federación Ganaderos (Fedegan), la producción de leche en Colombia, para el año 2006 fue de 6024 millones de litros (su participación fue de un 10% del PIB, dentro del sector de alimentos), de los cuales, aproximadamente un 18% (1.084 millones de litros) se destinó a la producción de quesos y un 9% (542 millones de litros) a leches fermentadas, lo que quiere decir que la producción nacional de lactosuero, correspondió a 921.672 millones de litros (Londoño *et al.*, 2008).

Este estudio tiene como objetivo revisar la literatura que describe la definición, composición, tipos y aplicaciones del lactosuero en la industria alimentaria resaltando su importancia nutricional y funcional en diferentes productos, permitiendo ver el lactosuero no como un subproducto de desecho sino como una alternativa de desarrollo alimentario.

Definición, composición y tipos de lactosuero.

El lactosuero es definido como "la sustancia líquida obtenida por separación del coágulo de leche en la elaboración de queso" (Foegeding y Luck, 2002). Es un líquido translúcido verde obtenido de la leche después de la precipitación de la caseína (Jelen, 2003).

Existen varios tipos de lactosuero dependiendo principalmente de la eliminación de la caseína, el primero denominado dulce, está basado en la coagulación por la renina a pH 6,5. El segundo llamado ácido resulta del proceso de fermentación o adición de ácidos orgánicos o ácidos minerales para coagular la caseína como en la elaboración de quesos frescos (Jelen, 2003). En la Tabla 1 se puede detallar la composición nutricional del lactosuero dulce y ácido, observándose que el dulce tiene mayor lactosa y mayor proteína respecto al ácido.

Tabla 1. Composición de lactosuero dulce y ácido (Panesar *et al.*, 2007).

Componente	Lactosuero dulce (g/L)	Lactosuero ácido (g/L)
Sólidos totales	63,0- 70,0	63,0- 70,0
Lactosa	46,0- 52,0	44,0- 46,0
Proteína	6,0- 10,0	6,0- 8,0
Calcio	0,4- 0,6	1,2- 1,6
Fosfatos	1,0- 3,0	2,0- 4,5
Lactato	2,0	6,4
Cloruros	1,1	1,1

En cualquiera de los dos tipos de lactosuero obtenidos, se estima que por cada kg de queso se producen 9 kg de lactosuero, esto representa cerca del 85-90% del volumen de la leche y contiene aproximadamente el 55% de sus nutrientes (Liu *et al.*, 2005). Entre los más abundantes de estos nutrientes están la lactosa (4,5-5% p/v), proteínas solubles (0,6-0,8% p/v), lípidos (0,4-0,5% p/v) y sales minerales (8-10% de extracto seco) (Muñi *et al.*, 2005; Londoño, 2006; Panesar *et al.*, 2007). Presenta una cantidad rica de

minerales donde sobresale el potasio, seguido del calcio, fósforo, sodio y magnesio. Cuenta también con vitaminas del grupo B (tiamina, ácido pantoténico, riboflavina, piridoxina, ácido nicotínico, cobalamina) y ácido ascórbico (Londoño *et al.*, 2008). En la Tabla 2 se registran los contenidos de vitaminas, su concentración y necesidades diarias, encontrándose con que el ácido pantoténico presenta la mayor concentración con 3,4 mg/ml seguido de ácido ascórbico con 2,2 mg/ml.

Tabla 2. Contenidos en vitaminas del lactosuero (Linden y Lorient, 1996).

Vitaminas	Concentración (mg/ml)	Necesidades diarias (mg)
Tiamina	0,38	1,5
Riboflavina	1,2	1,5
Acido nicotínico	0,85	10-20
Acido pantoténico	3,4	10
Piridoxina	0,42	1,5
Cobalamina	0,03	2
Acido ascórbico	2,2	10-75

Este gran contenido de nutrientes genera aproximadamente 3,5 kg de demanda biológica de oxígeno (DBO) y 6,8 kg de demanda química de oxígeno (DQO) por cada 100 kg de lactosuero líquido (Muñi *et al.*, 2005), siendo la lactosa, el principal componente de sólidos que contribuye a la alta DBO y DQO (Ghaly y Kamal, 2004; Mukhopadhyay *et al.*, 2005; Koutinas *et al.*, 2009; Almeida *et al.*, 2009).

Importancia de las proteínas de lactosuero.

No constituyen la fracción más abundante, pero es la más interesante en los terrenos económico y nutricional (Linden y Lorient, 1996). Representa una rica y variada mezcla de proteínas secretadas que poseen amplio rango de propiedades químicas, físicas y funcionales. Concretamente, suponen alrededor del 20% de las proteínas de la leche de bovino (Baro *et al.*, 2001), siendo su principal componente la β -lactoglobulina (β -LG) con cerca de 10% y α -lactoalbúmina con 4% de toda la proteína láctea (Hinrichs *et al.*, 2004), además, contiene otras proteínas como, lactoferrina, lactoperoxidasa, inmunoglobulinas, y glicomacropéptidos (Baro *et al.*, 2001). La β -LG es secretada en leches

de rumiantes con alta resistencia a la digestión gástrica, lo que origina intolerancia y/o alergenicidad en seres humanos, 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 *et al.*, 2008).

Las proteínas de este subproducto de la industria quesera desempeñan un importante papel nutritivo como una rica y balanceada fuente de aminoácidos esenciales ~26% (Ha y Zemel, 2003; Ibrahim *et al.*, 2005), además, son de alto valor biológico (por su contenido en leucina, triptófano, lisina y aminoácidos azufrados), tienen una calidad igual a las del huevo y no son deficientes en ningún aminoácido, esto puede ser observado en la Tabla 3 donde se relaciona el contenido de aminoácidos que contiene el lactosuero respecto al huevo, encontrándose que la leucina y lisina son los aminoácidos que se encuentran en mayor cantidad, además, parecen ejercer determinados efectos biológicos y fisiológicos, *in vivo*, potenciando la respuesta inmune, tanto humoral como celular (Baro *et al.*, 2001).

Tabla 3. Composición en aminoácidos esenciales (g/100 g de proteína) (Linden y Lorient, 1996)

Aminoácido	Lactosuero	Huevo	Equilibrio recomendado por la FAO
Treonina	6,2	4,9	3,5
Cisteína	1,0	2,8	2,6
Metionina	2,0	3,4	2,6
Valina	6,0	6,4	4,8
Leucina	9,5	8,5	7,0
Isoleucina	5,9	5,2	4,2
Fenilalanina	3,6	5,2	7,3
Lisina	9,0	6,2	5,1
Histidina	1,8	2,6	1,7
Triptófano	1,5	1,6	1,1

Numerosos estudios en animales han mostrado el efecto anticarcinogénico de las proteínas del lactosuero en ratones alimentados con pienso normal o adicionado con 20 g/100 g de caseína, encontrándose que a las 28 semanas, se presentaba una menor incidencia y área de tumores en los ratones alimentados con este tipo de proteínas, mientras que el 33% de los alimentados con otras dietas como pienso normal habían muerto (Baro *et al.*, 2001).

La fuente de proteína ha sido evaluada para estos efectos sobre seguridad y consumo de alimentos en humanos. Una posible explicación de los efectos de las proteínas de lactosuero sobre el consumo de alimentos puede residir en los péptidos presentes y sus acciones fisiológicas relevantes al consumirlos regularmente (Chung *et al.*, 2009).

La mayoría de las proteínas de lactosuero, β -lactoglobulina y α -lactoalbúmina, contribuyen a las propiedades funcionales de los ingredientes de proteínas (Flett y Correding, 2009) y en las formulaciones de alimentos (Nicorescu *et al.*, 2009), dentro de estas propiedades se tienen la solubilidad, hidratación, emulsificación, textura y consistencia, formación de espuma, emulsificación, y propiedades de gelificación de las proteínas de lactosuero (Spellman *et al.*, 2009; Nicorescu *et al.*, 2009).

Los factores decisivos en las propiedades funcionales de las proteínas relacionadas con los tratamientos térmicos, son su habilidad de absorber e inmovilizar agua en estructuras proteicas, esta cantidad de agua retenida puede ser incrementada por la desnaturalización térmica la cual conduce a la agregación y a una estructura porosa y como resultado se presenta capacidad de retención de agua incrementada (Gunasekaran *et al.*, 2006).

Las propiedades funcionales de este subproducto son usualmente atribuidas a la fracción proteica, la cual es una mezcla de diferentes proteínas con varias propiedades funcionales. Estas propiedades permiten ser usadas como ingrediente para varios propósitos en la industria alimenticia. La fracción proteica compuesta por β -lactoglobulina y α -lactoalbúmina compuesta por 70% del total de las proteínas son responsables de las propiedades de emulsificación y formación de espuma en soluciones de lactosuero. Sin embargo, la fracción menor compuesta por inmunoglobulinas (13%), lactoferrina (3%), albumina de suero bovina (5%),

fracción peptona-proteasa, y enzimas pueden influir significativamente en la funcionalidad del lactosuero (Aider *et al.*, 2009).

Algunos factores afectan las propiedades funcionales de proteínas alimenticias. Estos incluyen propiedades intrínsecas, como la secuencia acida de aminoácidos y la composición, la estructura secundaria y terciaria, el carácter hidrófilo/hidrófobo de la superficie de la proteína, la carga neta, y las distribuciones de carga; y también factores extrínsecos como pH, fuerza iónica, temperatura e interacción con otros ingredientes alimenticios (Nicorescu *et al.*, 2009).

Aplicaciones. Las proteínas de lactosuero son usadas ampliamente en una variedad de alimentos gracias a sus propiedades gelificantes y emulsificantes, siendo la β -lactoglobulina el principal agente gelificante (Akhtar y Dickinson, 2007; Spahn *et al.*, 2008). Los geles de proteína de lactosuero pueden ser usados como hidrogeles de pH-sensitivos, el cual puede ser definido como red tridimensional que muestra la habilidad de hincharse en agua y retiene una fracción significativa de agua dentro de esta estructura (Gunasekaran *et al.*, 2006).

Estas proteínas han favorecido propiedades funcionales como solubilidad, (Ibrahim *et al.*, 2005), la emulsificación, retención de agua/grasa, espumado, espesantes y propiedades de gelificación, además, que hacen del producto un interesante ingrediente alimenticio (González *et al.*, 2002), estas propiedades se pueden observar en la Tabla 4 donde se describen las propiedades funcionales del lactosuero comparadas con las de la leche.

Concentrados. Los concentrados de proteína de lactosuero (WPC) son elaborados por la ultrafiltración que consiste de una membrana semipermeable, la cual selectivamente permite pasar materiales de bajo peso molecular como agua, iones y lactosa, mientras retiene materiales de peso molecular alto como la proteína. El retenido es así concentrado por evaporación y liofilizado (Zadow, 2003; Muñi *et al.*, 2005).

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%

u ~80% de proteína (Foegeding y Luck, 2002). En la Tabla 5 se muestra la composición nutricional y el valor del pH de los asilados y concentrados de proteína con contenidos de proteína diferentes.

Los WPC conteniendo ~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 y 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 y 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 y Luck, 2002).

Tabla 4. Propiedades funcionales de la leche y lactosuero. Hui (1993).

Propiedades	Caseínas	Proteínas de lactosuero
Hidratación	Muy alta capacidad de retención de agua (CRA) con formación pegante a alta concentración	CRA incrementándose con desnaturalización de proteína
Solubilidad	Insoluble a punto isoeléctrico (pI)	Insoluble a pH 5 si es termodesnaturalizado
Gelificación	No gelificación térmica excepto en presencia de calcio. Gelificación micela por quimosina	Gelificación térmica desde 70 °C: influencia de pH y sales
Viscosidad	Soluciones muy viscosas a pH básico y neutral. Viscosidad más baja a pI	Soluciones no muy viscosas excepto si son termo-desnaturalizadas
Propiedades emulsificantes	Excelentes propiedades emulsificantes especialmente a pH básico y neutral Baja estabilidad espumante	Buenas propiedades emulsificantes excepto a pH 4-5 si es termodesnaturalizada
Retención de sabores	Buena retención de sabores	Retención muy variable con la desnaturalización
Propiedades espumado	Baja estabilidad espumante	Excelente estabilidad espumante

Tabla 5. Contenido de nutricional de concentrados y aislados de lactosuero (Foegeding y Luck., 2002).

Ingredientes	Proteína (%)	Humedad (%)	Lactosa (%)	Grasa (%)	Ceniza (%)	pH
WPC 35	34,7	3,7	51,3	3,9	6,5	6,4
WPC 35 ranges	34-35,4	3,5-4	51-54,5	3,5-5	3,1-8	6,2-6,7
WPC 80	81,3	4,8	5,9	6,3	3,7	6,6
WPC 80 ranges	80-83	4,2-5,5	4,2-1,0	4,2-10	2,9-5	6-7
WPI	94,3	4,8	1	0,7	3,0	6,7
WPI ranges	92-96,1	4-5,5	0,6-2,0	0,4-1,0	2,6-3,4	6,0-7,1

Hidrolizados. La introducción dentro de la dieta de hidrolizados enzimáticos ricos en oligopéptidos, especialmente di- y tripéptidos, representan una manera de mejorar la utilización de la proteína. Estas preparaciones han sido usadas en varios países como suplementación dietética o necesidades fisiológicas, para personas de la tercera edad, bebés prematuros, atletas que controlan el peso a través de dietas y niños con diarrea. Son muy utilizadas las proteínas hidrolizadas debido a que los aminoácidos proporcionados por los hidrolizados de proteína son rápida y completamente absorbidos a nivel digestivo en comparación con la proteína intacta sin hidrolizar (Santana *et al.*, 2008; Spellman *et al.*, 2009).

La hidrólisis 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 (Foegeding y Luck, 2002), 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 y Luck, 2002).

Entre las fuentes de proteínas que pueden ser usadas para la preparación de hidrolizados están: aislado de caseinato, y la proteína de leche. Sin embargo, en países subdesarrollados, esta proteína necesita ser importada la cual causaría un considerable incremento en costos (Santana *et al.*, 2008), como alternativa podría utilizarse *Bacillus subtilis* y pancreatina, una enzima que permite hidrolizar la proteína, obteniendo oligopéptidos con un rendimiento de 37,12%, según estudio realizados por Santana *et al.* (2008) teniendo como base lactosuero.

También, para obtener los concentrados, o aislados se pueden utilizar membranas que permitan separar la proteína del resto de los demás componentes del lactosuero, para este fin se utiliza la ultrafiltración y nanofiltración, Al respecto Muñi *et al.* (2005), encontraron que el máximo rendimiento obtenido en concentrados fue 3,28% p/p de proteína, mientras que para nanofiltración se obtuvo 38% de proteína, lo

cual demuestra que los procesos de nanofiltración son más útiles en el momento de obtener concentrados de proteína.

Aislados. Los aislados de proteína de lactosuero (WPI) tienen como características importantes un 90% de proteína y entre 4-5,5% de agua. Por su alta pureza, los WPI son usados extensivamente en suplementación nutricional, bebidas deportivas y medicinales. (Foegeding y Luck, 2002). 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 y 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).

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

Fórmulas infantiles. La elaboración está principalmente basada en leche de bovinos y sus derivados como un sustituto de la leche humana. Cuando en los años 70 aparecieron fórmulas infantiles basadas en lactosuero simulando la leche humana, la atención giró al desarrollo de estos productos. Este fue el inicio de las fórmulas infantiles mezclando igual cantidades de leche descremada, lactosuero desmineralizado (Wit, 2003) y otros componentes como vitaminas, minerales, taurina, nucleótidos entre otros (Sinha *et al.*, 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 fuente 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) (Lucena *et al.*,

2007). 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).

Producción de etanol. La producción de una bebida alcohólica por conversión del lactosuero es una alternativa de gran interés para la utilización de este subproducto industrial (Dragone *et al.*, 2009). Destilerías de lactosuero están en operación en Irlanda, Nueva Zelanda, y los Estados Unidos. En la fermentación se emplea *Kluyveromyces marxianus* var. *marxianus* o *Kluyveromyces fragilis* y lactosuero desproteinizado como sustrato (Mawson, 2003; Dragone *et al.*, 2009). El proceso puede ser operado bajo condiciones asépticas usando lactosuero pasterizado, con temperatura de fermentación entre 24-34°C (Mawson, 2003). Este proceso fermentativo origina un rendimiento de etanol en un rango de 75-85% del valor teórico, partiendo que por cada 0,538 kg de etanol se necesita de 1 kg de lactosa metabolizada, esto refleja la importancia en la producción de etanol que tiene el lactosuero.

Biomasa. La biomasa de levadura ha sido producida comercialmente desde 1940. Actualmente la producción de proteína es insuficiente para la alimentación (Mawson, 2003) y una alternativa a este problema es desde hace varios años la producción de proteína de levadura a través de procesos de fermentación. Estos procesos pueden usar fuentes de carbono económicos como lactosuero, en el cual se puede utilizar *Kluyveromyces lactis* un excelente microorganismo para producir biomasa y por lo tanto proteína de levadura (Canales *et al.*, 2003; Ghaly *et al.*, 2005).

Este proceso puede ser descrito como una reacción bioquímica de células y lactosa para producir células microbianas (biomasa) como principal producto (Ghaly *et al.*, 2005). Al respecto Cori *et al.* (2006) obtuvieron y caracterizaron concentrados de proteicos a partir de biomasa a través de la inoculación con *Kluyveromyces marxianus* con sulfato de amonio 0,2% p/v, y extracto de levadura 0,1% p/v en un medio de fermentación que contenía de lactosuero, al final del estudio se obtuvieron valores de biomasa 4,65 g/L, también, Revillion *et al.* (2003) utilizaron lactosuero en polvo inoculado con *Kluyveromyces marxianus* obteniéndose 26 g/L de biomasa. Se puede analizar que el sustrato utilizado sin suplementación produce gran cantidad de biomasa comparado con el

sustrato suplementado, es decir el sustrato contiene los requerimientos necesarios para producir altas concentraciones de biomasa.

Díaz *et al.* (2004), utilizaron desechos de vinaza como sustrato con la levadura *Candida utilis* suplementado con sulfato de amonio, urea y extracto de malta obtuvieron $2,2 \times 10^8$ células/ml, y en estudios similares Ghaly y Kamal (2004) emplearon *Kluyveromyces fragilis* utilizando el lactosuero como medio de fermentación suplementándolo con extracto de levadura 1%, 2% peptona, 2% de dextrosa, dando como resultado $8,5 \times 10^8$ células/ml. De lo anterior se puede decir que las diferentes formulaciones pueden aumentar la biomasa dependiendo del microorganismo y la composición del medio, además de otros factores.

Levadura para panificación. 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, estas características son proporcionadas por la incorporación de una combinación de emulsificantes y lactosuero en polvo (Wit, 2003).

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 (Mawson, 2003). El segundo proceso utiliza un sistema de fermentación de 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 mecánicamente o biológicamente para eliminar componentes celulares los cuales pueden purificar o transformarse a productos de alto valor (Mawson, 2003).

Producción de exopolisacáridos. El término exopolisacárido (EPS) es generalmente usado para describir todas las formas de polisacáridos bacterianos encontrados fuera de pared celular (Zisu y Shah, 2003; Briczinski y Roberts, 2002), tanto de células microbianas eucarióticas como procarióticas, son extracelulares, de cadenas alargadas, y polímeros de masa molecular alta (conteniendo cadenas ramificadas de α - y β) (Zisu y Shah, 2003). Estos polisacáridos llamados EPS son descritos como "mucoides" o "capsula" dependiendo si ellas son

sujetadas a las células bacterianas como cápsulas o se encuentran sueltas como material alrededor del medio (Doleyres *et al.*, 2005).

La fermentación de forma continua con altos niveles de carbohidratos ha sido exitosa en el realzamiento de la producción de EPS. (Péant *et al.*, 2005), al respecto se ha sugerido que la composición del medio de crecimiento puede afectar las viscosidades de la cápsula (donde se encuentran los EPS). Por ejemplo, incrementando el contenido de lactosa del caldo Elliker's de 0,5% a 5% o añadiendo proteína de lactosuero se puede producir cápsulas grandes, las cuales contienen atrapado exopolisacáridos en su interior (Robitaille *et al.*, 2006).

En décadas pasadas, algunos microorganismos han sido investigados para la producción de exopolisacáridos utilizando lactosa o lactosuero como sustrato de fermentación. La goma xantana es un ejemplo de exopolisacáridos que tienen importancia industrial significativa (Dlamini *et al.*, 2007). La xantana es una goma obtenida industrialmente, es muy utilizada como espesante o agente estabilizante en la industria de alimentos (Silva *et al.*, 2009; Fernandes *et al.*, 2009). La *Xanthomonas campestris* es usualmente el principal microorganismo empleado para la elaboración de esta goma. Para la producción eficiente de xantana, la *X. campestris*, necesita algunos nutrientes, incluyendo micronutrientes (por ejemplo, potasio, hierro, y sales de calcio) y macronutrientes como carbono y nitrógeno; sin embargo, los costos del medio de fermentación representan un aspecto crítico en la producción comercial de xantana, al respecto, cuando el medio de fermentación contiene el lactosuero y es suplementado con sulfato de magnesio 0,1% w/v, fosfato de potasio 2,0% w/v se pueden obtener producciones de 25 g/L de xantana, (Silva *et al.*, 2009; Fernandes *et al.*, 2009).

Ácidos orgánicos. Diferentes ácidos orgánicos pueden ser obtenidos a través de la fermentación de lactosuero, entre estos se tienen, butírico, propiónico y acético los cuales representan una posibilidad para la utilización de lactosuero como sustrato (Alam *et al.*, 1988).

Ácido acético. Durante la fermentación del lactosuero, el etanol puede ser además metabolizado a ácido acético por *Acetobacter* spp. Este proceso ha sido seguido y comercializado por Alimentos Kraf, resultando en vinagre de lactosuero que puede ser

utilizado en ensaladas de cocina y otros alimentos, sin que haya grandes diferencias con respecto al vinagre tradicional porque son procesos semejantes. La producción de ácido acético a partir de lactosuero ha sido base para la síntesis de otros químicos como el acetato, el cual podría estar disponible en el mercado en poco tiempo (Wit, 2003).

El ácido acético fue producido a partir de la fermentación anaerobia de lactosa por cultivos de *Streptococcus lactis* y *Clostridium formicoaceticum* a 35°C y pH entre 7,0 y 7,6, la lactosa fue convertida a ácido láctico, ácido acético. El rendimiento total de ácido acético a partir de lactosa fue cerca de 95% a pH 7,6 y 90% a pH 7,0. En la fermentación en lote de lactosuero permeado conteniendo cerca de 5% de lactosa a pH 7,6, la concentración de ácido acético alcanzó 20 g/L en menos de 20 horas (Tang *et al.*, 1988).

Ácido propiónico. El ácido propiónico ha sido muy utilizado en industrias químicas, de alimentos y farmacéuticas (Morales *et al.*, 2006), en la industria alimenticia es añadido como un agente fungistático a productos de panadería (Mawson, 2003). Normalmente, casi todo el ácido propiónico es elaborado por síntesis química, sin embargo se puede obtener a través de fermentación de la lactosa del lactosuero por *Propionibacterium acidipropionici*, *Propionibacterium freudenreichii* spp. *Shermanii*, y *Lactobacillus helveticus* a condiciones de fermentación de 30°C y pH 6.5-7.5 (Mawson, 2003; Morales *et al.*, 2006; Haddadin *et al.*, 2009). Suplementos como extracto de levadura, y lactosa realzan considerablemente la producción de propionato y un rendimiento cercano de 40% de lactosa fermentada es lograda después 60-70 horas de fermentación (Mawson, 2003).

El lactosuero ha sido usado extensivamente en medio de fermentación por *Aspegillus niger* para la producción de ácido cítrico (El Aasar, 2006; Holi y Delaimy, 2003), al respecto se han realizado distintas investigaciones indicando que composición nutricional del medio, condiciones ambientales, deficiencia de metales, pH y oxígeno disuelto entre otros, afectan la producción (Holi y Delaimy, 2003). Estudios realizados por Singh *et al.* (2004) obtuvieron ácido cítrico a través del microorganismo *Metschnikow pulcherrima* suplementando un medio de fermentación de lactosuero con extracto de malta (0,3%), glucosa (1%), extracto de levadura (0,3) y peptona (0,5). En

este estudio se manifestó que a bajas concentraciones de lactosa hay mayor producción de este ácido, cerca de 2,8 g/L, igualmente se pudo observar que pHs neutros y temperatura de 30 °C, favorecieron la producción de ácido cítrico. Holi y Delaimy (2003), en su investigación utilizando lactosuero con 15% de sacarosa y 1% de metanol con rendimientos de 106,5 g/L. Los valores anteriores muestran que la modificación en el medio de fermentación basados en el subproducto de la coagulación de la leche, afectan notablemente la producción de ácido cítrico.

El ácido D-glucónico un producto de oxidación de la glucosa ha encontrado una buena aplicación en las industrias de alimentos, y farmacéutica. La producción este ácido es principalmente realizado a través de fermentación microbiana, donde la lactosa es generalmente usada como una fuente de carbono para la producción de este ácido. La fermentación puede ser mejorada al utilizar materias primas económicas empleando microorganismos que tengan la habilidad al utilizar carbohidratos como fuente nutritiva (Mukhopadhyay *et al.*, 2005).

El lactosuero desproteinizado fue utilizado como medio de fermentación para la producción de ácido glucónico por *Aspergillus niger* inmovilizado en espuma de poliuretano en células libres. La adición de pequeña cantidad de glucosa (0,5% w/v) realizó la producción de ácido glucónico 140% respecto al medio no suplementado. El micelio inmovilizado produjo 92 g de ácido glucónico a partir de 1 litro de medio de lactosuero conteniendo 9,5% de lactosa y 0,5% de glucosa (Mukhopadhyay *et al.*, 2005).

Ácido láctico. El lactosuero ha sido un medio de cultivo para la producción de ácido láctico por vía biotecnológica (Ghasemi *et al.*, 2009), la fermentación láctica ha sido típicamente conducida en modo batch utilizando cepas homofermentativas de *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*, y *Lactobacillus casei* donde fuentes de complejos nutricionales como licor de maíz, malta o extracto de levadura pueden ser suplementados al medio (Wit, 2003; Serna y Rodríguez, 2005).

La fermentación de lactosuero por bacterias ácido lácticas podría disminuir el contenido de lactosa produciendo principalmente ácido láctico y otros metabolitos como componentes aromáticos contribuyendo al sabor y textura e incrementado la solubilidad de carbohidratos y el dulzor final del producto (Pescumma *et al.*, 2008).

Utilizando lactosuero desproteinizado, con vinaza y sacarosa e inoculándose con *Lactococcus lactis* y *Lactobacillus casei*, se obtuvo 41,3 g/L de ácido láctico, en otro estudio utilizando glucosa (30 g/L) e inoculando con *Lactobacillus delbrueckii* y *Lactobacillus casei*, se obtuvo un rendimiento de 26-28% de ácido láctico, inferior este valor a cuando se utiliza el lactosuero (Serna y Rodríguez, 2005).

Quesillo. El proceso más antiguo para la utilización del lactosuero es el calentamiento para recuperar la proteína del mismo con un concentrado proteico insoluble. La proteína láctea obtenida tiene muy variadas aplicaciones entre las cuales se citan la elaboración de sopas, condimentos para ensaladas, pastas enriquecidas con proteína, helados, productos dietéticos y productos cárnicos. El aprovechamiento del lactosuero ácido de queso doble crema para la elaboración de quesillo, es una alternativa de aplicación de este subproducto. El quesillo, un queso de pasta hilada de pH bajo es uno de los productos aceptados como exportables. En el Valle de Aburrá y en el Oriente Antioqueño de Colombia existe alrededor de 28 empresas lácteas que tienen entre sus líneas de producción la elaboración de queso fresco, estas producen 41 toneladas de queso fresco y quesillo bajo el sistema artesanal y 24 toneladas en plantas con tecnología moderna, lo que representa una generación de 3.684.000 litros por día de lactosuero (Londoño, 2006).

Estudios que reflejan el efecto de la utilización de diferentes ácidos orgánicos como acético, cítrico y láctico en coagulación para la elaboración de quesillo se han realizado observándose que no tuvieron efecto en el rendimiento con un valor promedio final de 9,73% cercano al 10% que es el valor teórico expresado (Londoño, 2006).

Quesos. Hoy en día, los quesos son elaborados por razones de preservación, versatilidad, conveniencia y reducción de costos. Con los avances en la tecnología de lácteos, nuevos ingredientes como leche en polvo, lactosuero en forma de polvo o concentrados de proteína de lactosuero (WPC) están ahora disponibles para la incorporación dentro del procesamiento del queso (Angulo, 2005; Lee y Anema, 2009). La adición de lactosuero en la elaboración de queso es limitada, al agregar la proteína coagulada o en forma de concentrado se obtuvo un aumento en el rendimiento, y originó alteraciones importantes en la textura, cuerpo y contenido de humedad, como se ha

podido demostrar en investigaciones llevadas a cabo en queso Cheddar (Hinrichs, 2001).

A diferentes tipos de quesos madurados han sido añadidos WPC con diferentes rendimientos, por ejemplo: queso tipo Camembert añadiéndose 1% de WPC, se ha obtenido un rendimiento de 30%, queso Saint-Paulin al cual se le añadió 5,56% de proteína se obtuvo 12% de rendimiento, queso suave tipo Camember con 1% de WPC se obtuvo rendimiento máximo de 30% (Hinrichs, 2001).

Bebidas fermentadas. El lactosuero desproteínizado o completo puede ser fermentado para producir una gama de bebidas. La principal ventaja ofrecida por el lactosuero como sustrato para la producción es que tienen un gran valor nutritivo, rehidrata y son menos ácidas que los jugos de frutas. La comercialización de estos productos generalmente enfatiza en la salud y beneficios nutricionales, especialmente si ellas aun contienen las proteínas de lactosuero. Una variedad de bebidas de este subproducto están disponibles en algunos países, aunque ellas son más populares en Europa, representan un sector emergente de productos lácteos no convencionales que requieren características sensoriales, físicas y químicas para el control de calidad y desarrollo del producto (Mawson, 2003). Levaduras y BAL coexisten en una asociación simbiótica y son responsables para una fermentación ácido-láctica. Esta mezcla de cultivo es capaz de utilizar lactosa de los subproductos lácteos como material para la producción de kéfir y para la liberación de microorganismos probióticos en el intestino del humano (Papavasiliou *et al.*, 2008). Tradicionalmente el contenido de sólidos de leche es incrementado para la producción de yogurt, los tres principales sistemas disponibles hoy en día son buenas opciones para lograr contenido de proteínas y sólidos deseables son: (a) adición de proteínas en polvo (leche descremada, concentrados de proteína de lactosuero, caseinatos), (b) evaporación de agua a partir de leche bajo condiciones de vacío o (c) eliminación de agua por filtración de membrana (Damin *et al.*, 2009), aparte de adicionar la proteína también se puede sustituir parcialmente la leche por lactosuero, o se puede utilizar WPI, en la elaboración de leches fermentadas como el yogurt (Amatayakul *et al.*, 2006; Castro *et al.*, 2009).

Londoño *et al.* (2008) realizaron una bebida fermentada basada en lactosuero como sustrato, se inoculó con *Lactobacillus delbrueckii*, *Lactobacillus*

casei y *Streptococcus salivarius*, una mezcla de sacarosa, jarabe de azúcar invertido, carboximetilcelulosa y crema de leche se añadieron, al final se tuvo un nivel de aceptación bueno de la bebida, de igual manera, Gauche *et al.* (2009) añadieron 20% de lactosuero al yogurt, presentando características similares al yogurt elaborado tradicionalmente.

Damin *et al.* (2009) y González *et al.* (2002) estudiaron la aplicación de WPC en la elaboración de yogurt utilizando leche en polvo descremada y caseinato de sodio, el tiempo de fermentación disminuyó con el incremento de los niveles de suplementación de caseinato sódico. Un efecto opuesto fue observado cuando se suplementó con leche en polvo descremada y no hubo cambios cuando se añadió WPC entre 0,6 y 4%.

Bebidas refrescantes. El sabor del lactosuero, especialmente el ácido, es más compatible con las bebidas de frutas cítricas. Sin embargo, su utilización como bebida refrescante es obstaculizada por la presencia de proteínas de lactosuero y componentes grasos. Después de la segunda guerra mundial, este problema se solucionó al utilizar lactosuero desproteínizado y sin grasa. Un ejemplo bien conocido de bebida refrescante es "Rivella" producida en Suiza desde 1950 y hoy en día consumida en Canadá y Holanda. Rivella es una bebida de lactosuero pasteurizada, carbonatada, con un sabor de fruta agrídulce y un pH de 3,7.

En 1970 la compañía Coca-Cola seleccionó WPC como nutrientes para mejorar la calidad nutricional de sus bebidas. Las bebidas pudieron ser fortificadas con un 1% de proteínas derivadas de la elaboración de queso sin que se detectaran cambios en el sabor y apariencia. Estas bebidas WPC retuvieron su sabor insípido y solubilidad después de la pasteurización en botella a pH 3 (Wit, 2003).

Otros productos. Durante la elaboración de queso casi toda la lactosa de la leche es transferida al lactosuero, es un importante producto de la industria láctea y su demanda global ha crecido apreciablemente en los últimos 10 años a una cantidad aproximadamente de 500000 tons por año (Schaafsma, 2008). Debido al bajo valor comercial de la lactosa, y la solubilidad baja e intolerancia presentada por algunas personas, nuevos aprovechamientos han sido propuestos para la derivación de lactosa y nuevos usos para estos derivados (Lopes *et al.*, 2007), dentro de estos están galletas, bizcochos, chocolate, azúcar para confites, sopas, salsas y alimentos

para bebés, por su poder endulzante (Schaafsma, 2008). Esta lactosa se puede obtener de diferente grado de pureza como cruda, comestible o grado farmacéutico según sea su aplicación (Bund y Pandit, 2007).

El uso de nematodos entomopatógenos (NEP) es una alternativa viable en estrategias de manejo integrado de ciertos insectos plaga. El uso de NEP no contamina y contribuye al acceso de una agricultura sostenible, para la producción de de estos NEP se puede utilizar lactosuero como ingrediente principal en un medio formulado (Espino *et al.*, 2003).

Producción de enzimas es una área importante en la utilización de proteínas lácteas para acelerar la maduración de queso, se emplean aminopeptidasa que son obtenidas a partir de la fermentación de lactosuero (Choi *et al.*, 1996), también la producción de α -amilasa usando cepas de *Bacillus subtilis*, está influenciada por la naturaleza de las fuentes de concentración de carbono y nitrógeno produciendo grandes concentraciones de enzima en medio que contenga lactosa. La β -galactosidasa o lactasa puede ser producida a partir de cepas de *Kluyveromyces* en lactosuero diluido, la enzima es intracelular y es inducida por la lactosa y galactosa. La β -galactosidasa puede ser usada para hidrolizar la lactosa o solucionar el problema de la intolerancia a la lactosa al generar syrups para uso alimentario (Mawson, 2003).

La extracción del olivo produce un agua residual de color oscuro generando problemas ambientales, para solucionar este inconveniente, la adición de lactosuero con *Lactobacillus paracasei* a través de fermentación logra decolorizar el agua residual disminuyendo el daño ambiental (Aouidi *et al.*, 2009). Algunas de las alternativas de los procesos de fermentación han sido investigadas para la utilización de este subproducto. La producción de lactosuero en polvo es la principal forma de crearle valor, parece suficiente comparado con la alternativa de alimentación de lactosuero líquido a los porcinos y/o ganado (Peters, 2005).

Las bacterias ácido lácticas, y específicamente las producciones de bacteriocinas son exigentes debido a la necesidad de enriquecer el medio de crecimiento conteniendo nutrientes, como carbohidratos, ácidos nucleicos, minerales, vitaminas, y principalmente aminoácidos, proteínas o hidrolizados de proteínas (Panesar *et al.*, 2007). Por ejemplo, los medios de laboratorio estándar (MRS, TGE, APT) solucionan el problema de fuentes de proteína, incorporando

productos como bactopectona, triptófano, extracto de carne o extracto de levadura en formulaciones las cuales alcanzan costos altos (Vásquez y Murado, 2008). Sin embargo el lactosuero se ha utilizado como medio de fermentación para la obtención de bacteriocinas por ser económica y de gran potencial nutritivo (Gómez *et al.*, 2003).

Aplicaciones usando proteínas de lactosuero como agentes microencapsulantes han sido estudiadas. Los aislados de proteína de lactosuero han mostrado proporcionar una buena barrera contra la oxidación de aceites de naranja y proporcionan una base efectiva para la microencapsulación de volátiles por secado en spray (Madene *et al.*, 2006). Para la microencapsulación de bacterias probióticas también se han utilizado las proteínas de lactosuero que son usadas comúnmente como estabilizadores de alimentos en la elaboración de yogurts agitados para prevenir la sinéresis (Kailasapathy, 2006). Además del su rol en procesos de fermentación, algunas bacterias ácido lácticas probióticas han sido estudiadas como fuentes para dietas de organismos vivos destinados a promover un impacto positivo en el huésped. *Lactobacillus reuteri* y *Bifidobacterium bifidum* han sido inoculados en lactosuero que contiene sacarosa y pectina preparando productos fermentados probióticos (Hernández *et al.*, 2007), Komenan *et al.*, 2009, encapsularon *Lactobacillus plantarum* utilizando como cubierta protectora proteínas de lactosuero, se crearon condiciones del sistema digestivo *in vitro* utilizando fluidos gástricos simulados durante 3 horas encontrándose que células sobrevivieron 1,5 horas bajo el efecto de los fluidos gástricos.

Películas comestibles. Pueden ser usadas para proporcionar alta calidad wholesome, fresh-like y productos alimenticios seguros. Películas comestibles basadas en proteínas y cubiertas han incrementado la atención en recientes años debido a sus propiedades funcionales y características nutricionales (Ozdemir y Floros, 2008)

El aspecto interesante con las proteínas de lactosuero es la habilidad para crear películas insolubles en agua (Bodnar *et al.*, 2007) barrera selectiva para humedad, gases y migración de solutos, (Galietta *et al.*, 2004) y transportador de varios ingredientes funcionales como antioxidantes, agentes antimicrobianos, especies, colorantes, sabores y olores los cuales pueden mejorar la funcionalidad de materiales de empaquetamiento (Zinoviadou *et al.*, 2009); además, estas películas se

caracterizan por ser transparentes que proporciona ciertas propiedades mecánicas (Rungsinee *et al.*, 2009) y como características final muy importante se tiene que son enteramente biodegradables y muy usadas en varios tipos de alimentos (Yoshida y Antunes, 2004; Gbassi *et al.*, 2009), un ejemplo de lo anterior son los concentrados (WPC) como los aislados (WPI), que son ideales para la formación de estos biopolímeros (Galiotta *et al.*, 2004; Osés *et al.*, 2009). La formación de estas películas compuestas de lactosuero no solo son importantes por sus nuevos usos encontrados o por las características mencionadas anteriormente, sino también porque mejoran la estabilidad microbiana de los alimentos particularmente en presencia de sustancias perseverantes (Ozdemir y Floros, 2008).

Al respecto Zinoviadou *et al.*, 2009 añadieron 0,5%, 1,0% y 1,5% w/w de aceite de orégano y sorbitol como plastificante a aislados de proteína de lactosuero, durante el experimento se encontró que la concentración de 1,5% w/w de aceite de orégano fue la más efectiva en el incremento de la vida útil de la carne al ser empacada en este biopolímero, detallándose la ventaja de utilizar biopolímeros basados en subproductos como lo es el subproducto obtenido después de la coagulación.

CONCLUSIONES

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

El lactosuero es una excelente materia prima para obtener diferentes productos a nivel tecnológico o como medio de formulación en procesos fermentativos. A pesar del problema de contaminación que se genera, existen una infinidad de productos que se pueden obtener. Dentro de estos productos están ácidos orgánicos, productos de panadería, bebidas para deportistas, alcoholes, bebidas fermentadas, gomas, empaques biodegradables sustancias inhibidoras de crecimiento, proteína unicelular, exopolisacáridos, concentrados proteicos, además, las proteínas del lactosuero tienen propiedades funcionales que permiten ser muy útiles en el área de los alimentos.

BIBLIOGRAFÍA

Aider, M., D. Halleux and I. Melnikova. 2009. Skim acidic milk whey cryoconcentration and assessment of its functional properties: Impact of processing

conditions. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 10(3): 334-341.

Akhtar, M. and E. Dickinson. 2007. Whey protein-maltodextrin conjugates as emulsifying agents: An alternative to gum arabic. *Journal Food Hydrocolloids* 21(4): 607-616.

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.

Almécija, M.C. 2007. Obtención de la lactoferrina bovina mediante ultrafiltración de lactosuero. Tesis de Doctorado en Tecnología y Calidad de los Alimentos. Facultad de Química. Universidad de Granada, España.

Alam, S., D. Stevens and R. Bajpai. 1988. Production of butyric acid by batch fermentation of cheese whey with *Clostridium beijerinckii*. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology* 2(6): 359-364.

Amatayakul, T., A.L. Halmos, F. Sherkat and N.P. Shah. 2006. Physical characteristics of yoghurts made using exopolysaccharide-producing starter cultures and varying casein to whey protein ratios. *International Dairy Journal* 16(1): 40-51.

Angulo, C.R. 2005. Factibilidad de producción y estudio de rendimiento de queso chanco con incorporación de suero en polvo. Tesis Maestría en Ciencias y Tecnología de la Leche. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.

Aouidi, F., H. Gannoun, N. Othman, L. Ayed and M. Hamdi. 2009. Improvement of fermentative decolorization of olive mill wastewater by *Lactobacillus paracasei* by cheese whey's addition. *Process Biochemistry* 44(5): 597-601.

Baro, L., J. Jiménez, A. Martínez y J. Bouza. 2001. Péptidos y proteínas de la leche con propiedades funcionales. *J. Ars. Pharmaceutica*. 42(3-4): 135-145.

Bodnar, I., A. Alting and M. Verschueren. 2007. Structural effects on the permeability of whey protein films in an aqueous environment. *Food Hydrocolloids* 21(5-6): 889-895.

Briczinski, E.P. and R.F. Roberts. 2002. Production of an exopolysaccharide-containing whey protein

- concentrate by fermentation of whey. *Journal of Dairy Science* 85(12): 3189-3197.
- Bund, R. and A. Pandit. 2007. Rapid lactose recovery from buffalo whey by use of "anti-solvent, ethanol". *Journal of Food Engineering* 82(3): 333-341.
- Canales, G., A. Rodríguez y N. Chavarría. 2003. Optimización de un medio de cultivo a base de lactosuero ácido, para la producción de *Kluyveromyces lactis* en cultivo sumergido-análisis de superficies de respuesta. En: Memorias. X Congreso Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería. Puerto Vallarta. México.
- Castro, F., T. Cunha, P. Ogliari, R. Teofilo, M. Ferreira and E. Prudencio. 2009. Influence of different content of cheese whey and oligofructose on the properties of fermented lactic beverages: Study using response surface methodology. *LWT - Food Science and Technology* 42(5): 993-997.
- Cori, M., N. Rivas, B. Dorta, E. Pacheco y A. Bertsch. 2006. Obtención y caracterización de dos concentrados proteicos a partir de biomasa de *Kluyveromyces marxianus* var. *marxianus* cultivada en suero lácteo desproteinizado. *Revista Científica (Maracaibo)*. 16(3): 315-324.
- Choi, H., L. Laleye, G. Amantea and R. Simard. 1996. Production of aminopeptidase from skim milk whey permeate medium by *Lactobacillus casei* ssp. *casei*. *Journal of Dairy Science* 79(6): 956-963.
- Chung, S., P. Moughan, A. Awati and H. Morton. 2009. The influence of whey protein and glycomacropeptide on satiety in adult humans. *Physiology & Behavior* 96(1): 162-168.
- Damin, M., M. Alcântara, A. Nunes and M. Oliveira. 2009. Effects of milk supplementation with skim milk powder, whey protein concentrate and sodium caseinate on acidification kinetics, rheological properties and structure of nonfat stirred yogurt. *LWT-Food Science and Technology* 10: 16-22.
- Díaz, O., C. Pereira, A. Cobos. 2004. Functional properties of ovine whey protein concentrates produced by membrane technology after clarification of cheese manufacture by-products. *Journal Food Hydrocolloids* 18(4): 601-610.
- Dlamini, A.M., P.S. Peiris, J.H. Bavor and K. Kasipathy. 2007. Characterization of the exopolysaccharide produced by a whey utilizing strain of *Klebsiella oxytoca*. *African Journal of Biotechnology* 6(22): 2603-2611.
- Doleyres, Y., L. Schaub and C. Lacroix. 2005. Comparison of the functionality of exopolysaccharides produced *in situ* or added as bioingredients on yogurt properties. *Journal Dairy Science* 88: 4146-4156.
- Dragone, G., S. Mussatto, J. Oliveira and J. Teixeira. 2009. Characterisation of volatile compounds in an alcoholic beverage produced by whey fermentation. *Food Chemistry* 112(4): 929-935.
- El Aasar, S.A. 2006. Submerged fermentation of cheese whey and molasses for citric acid production by *Aspergillus niger*. *International Journal of Agriculture and Biology* 8(4): 463-467.
- Espino, J., A. Rodríguez y N. Chavarría. 2003. Cinética de producción del nemátodo entomopatógeno *Steinernema feltiae* en medio complejo formulado con lactosuero ácido. En memorias: X Congreso Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería. Puerto Vallarta. México.
- Fernandes, M., R. Fornari, M. Mazutti, D. Oliveira, F. Ferreira, A. Cichoski, R. Cansian, M. Luccio and H. Treichel. 2009. Production and characterization of xanthan gum by *Xanthomonas campestris* using cheese whey as sole carbon source. *Journal of Food Engineering* 90(1): 119-123.
- Foegeding, E. and P. Luck. 2002. Whey protein products. 1957-1960. In: Caballero, B., L. Trugo, P. Finglas (eds.). *Encyclopedia of Foods Sciences and Nutrition*. Academic Press, New York.
- Flett, K. and M. Corredig. 2009. Whey protein aggregate formation during heating in the presence of κ -carrageenan. *Food Chemistry* 115(4): 1479-1485.
- Gbassi, G., T. Vandamme, S. Ennahar and E. Marchioni. 2009. Microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* spp in an alginate matrix coated with whey proteins. *International Journal of Food Microbiology* 129(1): 103-105.

- Galiotta, G., F. Harte, D. Molinari, R. Capdevielle and W. Diano. 2004. Aumento de la vida útil postcosecha de tomate usando una película de proteína de suero de leche. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 6(002): 117-123.
- Gauche, C., T. Tomazi, P. Barreto, P. Ogliari and M. Bordignon. 2009. Physical properties of yoghurt manufactured with milk whey and transglutaminase. *LWT - Food Science and Technology* 42(1): 239-243.
- Gómez, M., B. García., C. Regalado. 2003. X Congreso Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería por *Lactococcus Lactis* UQ2. En memorias: X Congreso Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería. Puerto Vallarta. México.
- González, C., M. Becerra, M. Cháfer, A. Albors, J.M. Carot and A. Chiralt. 2002. Influence of substituting milk powder for whey powder on yoghurt quality. *Trends in Food Science y Technology* 13(9-10): 334-340.
- Ghaly, A. and M. Kamal. 2004. Submerged yeast fermentation of acid cheese whey for protein production and pollution potential reduction. *Water Research* 38(3): 631-644.
- Ghaly, A., M. Kamal. and L. Correia. 2005. Kinetic modelling of continuous submerged fermentation of cheese whey for single cell protein production. *Bioresource Technology* 96(10): 1143-1152.
- Ghasemi, M., G. Najafpour, M. Rahimnejad, P. Aeineh, M. Sedighi and B. Hashemiyeh. 2009. Effect of different media on production of lactic acid from whey by *Lactobacillus bulgaricus*. *African Journal of Biotechnology* 8(1): 081-084.
- Gunasekaran, S., S. Ko and L. Xiao. 2006. Use of whey proteins for encapsulation and controlled delivery applications. *Journal of Food Engineering* 83(1): 31-40.
- Ha, E. and M. Zemel. 2003. Functional properties of whey, whey components, and essential amino acids: mechanisms underlying health benefits for active people. *The Journal of Nutritional Biochemistry* 14(5): 251- 258.
- Haddadin, M., R. Muhirat, N. Batayneh and R. Robinson. 2009. Production of acetic and propionic acids from labneh whey by fermentation with propionibacteria. *International Journal of Dairy Technology* 49(3):79-81.
- Hernández, A., V. Robles, J. Angulo, J. Cruz and H. García. 2007. Preparation of a whey-based probiotic product with *Lactobacillus reuteri* and *Bifidobacterium bifidum*. *Food Technology Biotechnology* 45(1): 27-31.
- 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.
- Hinrichs, J. 2001. Incorporation of whey proteins in cheese. *International Dairy Journal* 11(4-7): 495-503.
- Hinrichs R., J. Gotz, M. Noll, A. Wolfschoon, H. Eibel and H. Weisser. 2004. Characterization of different treated whey protein concentrates by means of low-resolution nuclear magnetic resonance. *International Dairy Journal* 14(9): 817-827.
- Holi, M. and K. Delaimy. 2003. Citric acid production from whey with sugars and additives by *Aspergillus niger*. *African Journal of Biotechnology* 2(10): 356-359.
- Hui, Y. 1993. *Dairy Science and Technology Handbook 1. Principles and properties*. Primera edición. VCH Published, New York. 398 p.
- Ibrahim, F., E. Babiker, N. Yousif and A. Tinay. 2005. Effect of fermentation on biochemical and sensory characteristics of sorghum flour supplemented with whey protein. *Food Chemistry* 92(2): 285-292.
- 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.
- Kailasapathy, K. 2006. Survival of free and encapsulated probiotic bacteria and their effect on the sensory properties of yoghurt. *LWT - Food Science and Technology* 39(10): 1221-1227.
- Linden, G. and D. Lorient. 1996. *Bioquímica Agroindustrial: revalorización alimentaria de la producción agrícola*. Editorial Acribia, Zaragoza. España. 454 p.
- Komenan, G., T. Vandamme, S. Ennahar and E. Marchioni. 2009. Microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* spp in an alginate matrix coated with whey proteins. *International Journal of Food Microbiology* 129(1): 103-105.

- 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.
- Lee, S. and S. Anema. 2009. The effect of the pH at cooking on the properties of processed cheese spreads containing whey proteins. *Food Chemistry* 115(4): 1373-1380.
- Liu, X., K. Chung, S. Yang and A. Yousef. 2005. Continuous nisin production in laboratory media and whey permeate by immobilized *Lactococcus lactis*. *Journal Process Biochemistry* 40: 13-24.
- 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.
- 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.
- Lopes, M., C. Saron, A. Lerayer and V. Sgarbieri. 2007. Use of bovine whey permeate and lactulose as potencial enhancers of the MRS and modified MRS media for the cultivation of species of probiotic bacteria. *Braz. J. Food Technol* 10(1):35-41.
- Lucena, M., S. Álvarez, C. Menéndez, F. Riera and R. Álvarez. 2007. α -Lactalbumin precipitation from commercial whey protein concentrates. *Journal Separation and Purification Technology* 52(3): 446-453.
- Madene, A., M. Jacquot, J. Scher and S. Desobry. 2006. Flavour encapsulation and controlled release-a review. *International Journal of Food Science and Technology* 41(1): 1-21.
- Mawson, J. 2003. Fermentation of Whey. pp. 6157-6163. In: Caballero, B. (ed.). *Encyclopedia of Foods Sciences and Nutrition*. Second edition. Academic Press, London.
- Mendoza, M., N. Rivas, B. Dorta, E. Delahaye y A. Bertsch. 2006. Obtención y caracterización de dos concentrados proteicos a partir de biomasa de *Kluyveromyces marxianus* var. *marxianus* cultivada en suero lácteo desproteinizado. *Revista Científica, FCV-LUZ* 16(3): 315-324.
- Morales, J., J. Choi and D. Kim. 2006. Production rate of propionic acid in fermentation of cheese whey with enzyme inhibitors. *Environmental Progress* 25(3): 228-234.
- Mukhopadhyay, R., S. Chatterjee, B.P. Chatterjee, P. Banerjee and A. Guha. 2005. Production of gluconic acid from whey by free and immobilized *Aspergillus niger*. *International Dairy Journal* 15(3): 299-303.
- 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.
- 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.
- Oses, J., M. Fabregat, R. Pedroza, S. Tomás, A. Cruz and J. Maté. 2009. Development and characterization of composite edible films based on whey protein isolate and mesquite gum. *Journal of Food Engineering* 92(1): 56-62.
- Ozdemir, M. and J.D. Floros. 2008. Optimization of edible whey protein films containing preservatives for mechanical and optical properties. *Journal of Food Engineering* 84(1): 116-123.
- Papavasiliou, G., Y. Kourkoutas, A. Rapti, V. Sipsas, M. Soupioni and A. Koutinas. 2008. Production of freeze-dried kefir culture using whey. *International Dairy Journal* 18(3): 247-254.
- Panesar, P., J. Kennedy, D. Gandhi and K. Bunko. 2007. Bioutilisation of whey for lactic acid production. *Food Chemistry* 105: 1-14.
- Péant, B., G. LaPointe, C. Gilber, D. Atlan, P. Ward and D. Roy. 2005. Comparative analysis of the exopolysaccharide biosynthesis gene clusters from four strains of *Lactobacillus rhamnosus*. *Microbiology* 151: 1839-1851.

- Pescumma, M., E. Hérbet, F. Mozzi and G. Font. 2008. Whey fermentation by thermophilic lactic acid bacteria: Evolution of carbohydrates and protein content. *Food Microbiology* 25(3): 442–451.
- Peters, R. 2005. Economic aspects of cheese making as influenced by whey processing options. *International Dairy Journal* 15(6-9): 537-545.
- Revellion, 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.
- Robitaille, G., S. Moineau, D. Gelais, C. Vadeboncoeur and M. Britten. 2006. Detection and quantification of capsular exopolysaccharides from *Streptococcus thermophilus* using lectin probes. *Journal of Dairy Science* 89:4156–4162.
- Rungsinee, S., J. Rhim and S. Hong. 2009. Effect of nano-clay type on the physical and antimicrobial properties of whey protein isolate/clay composite films. *Journal of Food Engineering* 91(3): 468–473.
- Schaafsma, G. 2008. Review Lactose and lactose derivatives as bioactive ingredients in human nutrition. *International Dairy Journal* 18(5): 458–465.
- 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. y A. Rodriguez. 2005. Produccion biotecnológica de ácido láctico: estado del arte. *Ciencia y Tecnologia Alimentaria* 5(1): 54-65.
- Silva, M., R. Fornari, M. Mazutti, D. Oliveira, F. Padilha, A. Cichoski, R. Cansian, M. Luccio and H. Treichel. 2009. Production and characterization of xanthan gum by *Xanthomonas campestris* using cheese whey as sole carbon source. *Journal of Food Engineering* 90(1): 119-123.
- Singh, R., B. Sooch, K. Kamaljit and J. Kennedy. 2004. Optimizacion of parameters for citric acid production from Cheddar cheese whey using *Metschnikowia pulcherrima* NCIM 3108. *Journal of Biological Sciences* 4(6): 700-705.
- Sinha, R., C. Radha, J. Prakash and P. Kaul. 2007. Whey protein hydrolysate: Functional properties, nutritional quality and utilization in beverage formulation. *Food Chemistry* 101(4): 1484-1491.
- Spahn, G., R. Baeza, L. Santiago and A. Pilosof. 2008. Whey protein concentrate/ λ -carrageenan systems: Effect of processing parameters on the dynamics of gelation and gel properties. *Food Hydrocolloids* 22(8): 1504–1512.
- Spellman, D., G. O’Cuinn and R. FitzGerald. 2009. Bitterness in *Bacillus* proteinase hydrolysates of whey proteins. *Food Chemistry* 114(2): 440–446.
- Tang, I., S. Yang and M. Okos. 1988. Acetic acid production from whey lactose by the co-culture of *Streptococcus lactis* and *Clostridium formicoaceticum*. *Applied Microbiology and Biotechnology* 28(2): 138-143.
- Vásquez, J. y M. Murado. 2008. Enzymatic hydrolysates from food wastewater as a source of peptones for lactic acid bacteria productions. *Enzyme and Microbial Technology* 43(1): 66-72.
- Yoshida, C. and J. Antunes. 2004. Characterization of whey protein emulsion films. *Brazilian Journal of Chemical Engineering* 21(2): 247-252.
- 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. 2003. Protein concentrates and fractions. 6152-6156. In: Francis, F. (ed.). *Encyclopedia of Food Science and Technology*. Wiley, New York.
- Zisu, B. and P. Shah. 2003. Effects of pH, temperature, supplementation with whey protein concentrate, and adjunct cultures on the production of exopolysaccharides by *Streptococcus thermophilus* 1275. *Journal Dairy Science* 86: 3405-3415.
- Zinoviadou, K., K. Koutsoumanis and C. Biliaderis. 2009. Physico-chemical properties of whey protein isolate films containing oregano oil and their antimicrobial action against spoilage flora of fresh beef. *Meat Science* 82(3): 338–345.