



Imagen de: Miguel Ángel Mazorra Manzano

# Propiedades y opciones para valorizar el lactosuero de la quesería artesanal

## Properties and options for the valorization of whey from the artisanal cheese industry

Miguel Ángel Mazorra-Manzano<sup>1\*</sup>, Jesús Martín Moreno-Hernández<sup>2</sup>

### RESUMEN

El lactosuero posee una gran cantidad de los componentes de la leche, sin embargo, una alta proporción del volumen generado se sigue tirando, provocando pérdida de nutrientes y problemas de contaminación. El objetivo del presente trabajo fue proveer información sobre las propiedades nutricionales, funcionales y biológicas del lactosuero, generado por la industria quesera artesanal, así como evidencias científicas recientes que sustentan, bajo distintos enfoques tecnológicos, el potencial de aprovechamiento, mediante su transformación o recuperación para adicionarle valor. Las oportunidades en la valorización del lactosuero, a través de la elaboración de diversos productos lácteos, como el requesón (queso de suero), bebidas fermentadas o con frutas, bebidas para deportistas, bebidas alcohólicas, mantequilla de suero, dulces, helados y paletas, reflejan el nicho de oportunidades para hacer la industria quesera artesanal más redituable. El cambio de paradigmas en los productores artesanales, en percibir al lactosuero como una fuente de co-productos para su recuperación, transformación y reincorporación a sus procesos, acorde a las capacidades tecnológicas de dicha industria, y no como un subproducto, reduciría las pérdidas de componentes de alto valor (e.g., proteína, lípidos y azúcares), trayendo consigo efectos benéficos, tanto ambientales como económicos.

**PALABRAS CLAVE:** lactosuero, subproducto, co-producto, valorización, productos lácteos.

### ABSTRACT

Whey contains a high concentration of milk components. However, a high volume of it continues to be discarded to the environment, leading to a loss in nutrients and pollution problems. The objective of the present review is oriented to provide information on the nutritional, functional and biological properties of the whey generated by the artisanal cheese industry. Furthermore, scientific evidence supporting the different opportunities for its valorization, revised under different technological approaches is included. The potential of whey valorization, through its recovery or transformation into value-added products, includes its use in a diversity of food products. Whey use includes the production of requesón (whey cheese), fermented beverages, fruit-flavored drinks, sports drinks, alcoholic beverages, whey buttermilk, ice-cream, candies and popsicles. The transformation of whey produced by the artisanal cheese industry, offer a niche of opportunities to make this industry more profitable. The reduction in loss of highly valuable components (e.g., protein, fat and lactose) by using whey, according to their technological capabilities, represents a suitable option to its valorization, by changing the perception of whey as a waste, but as a source of co-products. The recovery, transformation and reincorporation into the processes, would bring beneficial economic effects to artisanal producers and reduce the environmental impact caused by this industry.

**KEYWORDS:** whey, by-product, co-product, value-added, dairy products.

\*Correspondencia: mazorra@ciad.mx/ Fecha de recepción: 7 de abril de 2018/ Fecha de aceptación: 25 de febrero de 2019/ Fecha de publicación: 29 de julio de 2019

<sup>1</sup>Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), A.C. Laboratorio de Biotecnología de Lácteos, Química y Autenticidad de Alimentos, carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas, núm. 46, Hermosillo, Sonora, México, C. P. 83304. <sup>2</sup>Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Valle de Culiacán.

## INTRODUCCIÓN

La industria quesera es una de las áreas más dinámicas e importantes del sector agroalimentario en México. De acuerdo a los datos reportados por el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2016), la producción de leche de bovino alcanzó 11 600 millones de L, destinándose cerca del 23 % a la producción de quesos (ca. 266 000 T de queso). Aunque la mayor producción quesera la concentran las grandes compañías transnacionales y nacionales, la quesería artesanal tiene una participación muy destacable. La producción de quesos por productores artesanales se considera que es igual o mayor que la industria formal, sin embargo esta no se encuentra adecuadamente documentada y los datos estadísticos no son representativos (Castañeda-Martínez y col., 2009; Villegas-de-Gante y Cervantes-Escoto, 2011). No obstante, dicha industria juega un papel muy importante en la cadena de valor de la leche, pues la integran productores lecheros que realizan prácticas queseras en sus unidades de producción (farmstead) o en sus hogares. Estas empresas varían en su capacidad de procesamiento y transformación de la leche, entre ellas, se encuentran productores pequeños (< 2 000 L/d; incluyen queserías familiares que transforman pocos litros en sus hogares), medianos (2 000 L/d a 20 000 L/d) y de gran escala (> 20 000 L/d), siendo los dos primeros grupos los más representativos de la industria quesera artesanal mexicana. La producción de quesos artesanales es una actividad diaria, que se practica a lo largo del territorio nacional, con cerca de 40 variedades reportadas (González-Córdova y col., 2016). La valoración de este tipo de quesos se ha incrementado en los últimos años, con mejoras en su calidad y demanda. Sin embargo, esta industria sigue presentando rezagos en el aprovechamiento de los subproductos que genera, principalmente lactosuero. El lactosuero es el líquido que se drena durante la elaboración de quesos tras la separación de la cuajada (caseínas y grasa principalmente); posee alrededor del 55 % de los sólidos de la leche (principalmente lactosa, proteína sé-

rica, minerales y en menor proporción grasa), lo que lo convierte en un residuo altamente contaminante, si no se maneja de manera adecuada. La quesería mexicana produce una gran cantidad de lactosuero, ya que por cada kg de queso producido, se generan entre 8 L y 9 L de lactosuero, que se traduce en una producción superior a los 2.4 millones de T anuales, del cual se estima que solo la mitad es aprovechado (Mollea y col., 2013). El lactosuero obtenido por la quesería artesanal mexicana, sigue siendo considerado, erróneamente, un residuo con pocas oportunidades de aprovechamiento o comercialización, limitando el uso de una pequeña parte a la preparación de requesón y en la alimentación de ganado bovino o porcino. Ante dicho panorama, es necesario hacer un cambio de paradigmas en los productores artesanales, que les permitan incorporar procesos y tecnologías para el aprovechamiento integral del lactosuero, acorde a sus capacidades económicas y tecnológicas.

El objetivo del presente trabajo fue proporcionar información sobre las características nutricionales, funcionales y biológicas del lactosuero, así como evidencias científicas que sustentan, bajo distintos enfoques tecnológicos, el potencial de aprovechamiento y/o transformación del lactosuero generado por la industria quesera artesanal.

### Composición y propiedades del lactosuero Composición química

En términos generales, el lactosuero posee un 55 % de los nutrientes mayoritarios originales de la leche, los cuales corresponden al 96 % de la lactosa (46 g/L a 52 g/L), 25 % de la proteína (6 g/L a 10 g/L) y 8 % de la materia grasa (5 g/L) (Smithers, 2008; Yadav y col., 2015).

El lactosuero obtenido de la elaboración de queso se clasifica en suero dulce y suero ácido. El suero dulce se obtiene mediante la coagulación enzimática de las caseínas al pH fisiológico de la leche (6.5 a 6.8), utilizando cuajo comercial estandarizado (quimosina u otra proteasa con actividad similar). Presenta un

alto contenido de lactosa (46 g/L a 65 g/L) y proteína (6 g/L a 12 g/L), con bajo contenido de grasa (3 g/L a 5 g/L) y acidez (máximo 2 g/L de ácido láctico). Este suero proviene de la elaboración tradicional de queso fresco, panela y Chihuahua, mientras que el suero ácido proviene de quesos como el poro, Oaxaca, cotija y cocido, donde, en estos últimos, se utiliza una coagulación mixta en su elaboración (disminución del pH de la leche y adición de cuajo). La acidificación de la leche se realiza mediante la adición de ácidos orgánicos (e.g. ácido cítrico) o la fermentación de la lactosa con bacterias ácido lácticas (BALs) propias de la leche o con cultivos iniciadores. La composición fisicoquímica del suero ácido es muy parecida al suero dulce, oscilando de 6 g/L a 8 g/L de proteína, 3 g/L a 4 g/L de grasa, 38 g/L a 45 g/L de lactosa. Sin embargo, el suero ácido posee un mayor contenido de ácido láctico (6.4 g/L) y menor pH (< 5.6). El lactosuero también es rico en minerales, siendo los principales el calcio (0.6 g/L), fósforo (0.7 g/L), magnesio (0.17 g/L), sodio (0.3 g/L) y potasio (1 g/L). La concentración de otros minerales como zinc, hierro, cobre y manganeso depende del origen de la leche y tipo de lactosuero (Wong y col., 1978; Yadav y col., 2015).

La variabilidad en la composición, entre los distintos sueros, hace necesario determinar su calidad tecno-funcional y biológica, con el propósito de optimizar su perfil tecnológico y adaptar tecnologías acordes a las condiciones de la quesería regional, para su mejor aprovechamiento.

### Calidad nutricional

La relevancia del contenido de proteína, lactosa, grasa y minerales (principalmente calcio y fósforo) en el lactosuero, se debe a su valor nutritivo como alimento y como fuente de componentes funcionales y bioactivos. La calidad nutricional de las proteínas del lactosuero es excepcional, pues presentan un valor biológico (VB) superior al de las proteínas del huevo (i.e., 104 *vs.* 100) y 1.4 veces mayor a la proteína de soya. Así como una elevada utiliza-

ción neta de proteína (NPU, por sus siglas en inglés: Net Protein Utilization) (i.e., 92 %) y una máxima digestibilidad (PDCAAS, de 1.0; por sus siglas en inglés: Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score) (Hoffman y Falvo, 2004; Smithers, 2008). Por otro lado, la lactosa [ $\beta$ -D-galactopiranosil-(1 $\rightarrow$ 4)-D-glucosa] es el componente energético mayoritario en el lactosuero. Sus derivados (e.g., lactulosa y lactosucrosa) poseen propiedades prebióticas que favorecen el crecimiento selectivo de microorganismos benéficos para la salud, especialmente bifidobacterias y lactobacilos (Wang, 2009). Además, la fracción lipídica de la membrana de los glóbulos de grasa de la leche (MFGM, por sus siglas en inglés: Milk Fat Globule Membrane) contiene ácidos grasos poliinsaturados, como el ácido linoleico conjugado (C18:2 *cis*-9, *trans*-11-CLA) (Benjamin y col., 2015).

### Propiedades funcionales de los componentes del lactosuero

Desde el punto de vista tecnológico, la proteína es la fracción más versátil e importante de los componentes del lactosuero. Esta fracción proteica incluye  $\beta$ -lactoglobulina ( $\beta$ -LG, 40 % a 50 %),  $\alpha$ -lactoalbúmina ( $\alpha$ -LA, 12 % a 15 %), inmunoglobulinas (IGs, 8 %), albúmina de suero bovino (BSA, 5 %; por sus siglas en inglés: Bovine Serum Albumin), lactoferrina (Lf, 1 %), lactoperoxidasa (0.5 %), fracción proteasapeptona (12 %) y el glicomacropéptido (GMP, 12 %) (Smithers, 2008; Yadav y col., 2015).

El uso de las proteínas de lactosuero incluye diversas aplicaciones en la formulación de alimentos, como en bebidas, panadería, confitería, productos lácteos y cárnicos. Entre las proteínas del lactosuero, con propiedades funcionales más sobresalientes, se encuentran  $\beta$ -LG,  $\alpha$ -LA y BSA.

La  $\beta$ -LG es una proteína globular mayoritaria en el lactosuero y posee excelentes propiedades emulsificantes y gelificantes, caracterizándose como un ingrediente altamente versátil para la formulación de alimentos (Chatterton y col., 2006). La  $\alpha$ -LA, además de pre-

sentar alta solubilidad en un amplio rango de pH, presenta excelentes propiedades espumantes y emulsificantes, y tiene la capacidad de ligar iones calcio (Chatterton y col., 2006) y compuestos hidrofóbicos, como vitaminas liposolubles (Vit D<sub>3</sub>), retinol y ácidos grasos (Delavari y col., 2015). La BSA contiene propiedades similares a la  $\alpha$ -LA, y es comúnmente utilizada como proteína modelo para el estudio de sistemas alimentarios emulsionados y aireados (Chatterton y col., 2006).

Por otro lado, la fracción lipídica del lactosuero también posee propiedades funcionales atractivas, ya que esta fracción contiene fosfolípidos de membrana (10 % a 15 % de lípidos, base seca) que rodean a la MFGM. Esta fracción es altamente valorada como ingrediente alimentario por sus excelentes propiedades emulsificantes (Jiménez-Flores y Brisson, 2008).

### Componentes bioactivos en el suero de queso

#### Proteínas y péptidos

La mayoría de los componentes bioactivos del lactosuero corresponden a la fracción de proteínas séricas, GMP, enzimas, inmunoglobulinas y péptidos derivados de su hidrólisis. Se ha reportado que la  $\beta$ -LG estimula diferentes funciones intestinales (e.g. absorción de retinol y ácidos grasos), y presenta propiedades anticarcinogénicas y capacidad para modular la respuesta inmune (Chatterton y col., 2006). La  $\alpha$ -LA se ha relacionado con su citotoxicidad hacia células tumorales, al formar complejos no covalentes con el ácido oleico (Rammer y col., 2010). Otras proteínas en el lactosuero, como BSA, GMP, Lf y lactoperoxidasa, comparten propiedades antimicrobianas, antifúngicas y antioxidantes (Hernández-Ledesma y col., 2011). Por ejemplo, el GMP, debido a su composición (libre de fenilalanina y altamente glicosilado), es adecuado para formular dietas especiales para infantes con problemas de fenilcetonuria, además de presentar propiedades anticariógenas (Salcedo y col., 2011). Las inmunoglobulinas (IgG1, IgG2) imparten inmunidad pasiva y otros efectos benéficos en per-

sonas inmunocomprometidas (Mehra y col., 2006). El lactosuero contiene cantidades considerables de factores de crecimiento similares a insulina tipo 1 y tipo 2 (IGF-1, IGF-2, por sus siglas en inglés: Insulin-like growth factor), factor de crecimiento transformante beta (TGF- $\beta$ , por sus siglas en inglés: Transforming growth factor beta) y factor de crecimiento de fibroblastos (FGF, por sus siglas en inglés: fibroblast growth factor) (Forster y col., 2014).

Además de las propiedades biológicas que las proteínas séricas presentan en su estado nativo, también mediante su hidrólisis por procesos enzimáticos o fermentativos, pueden liberar péptidos bioactivos, con efectos benéficos a la salud. Se han reportado secuencias peptídicas, provenientes de la hidrólisis de la  $\beta$ -LG y la  $\alpha$ -LA que poseen actividad antihipertensiva, antioxidante, antimicrobiana, anti-diabética, hipocolesterolémica, inmunoestimulante y anticancerígena (Gauthier y col., 2006; Dullius y col., 2018). El lactosuero proveniente de la producción artesanal de queso fresco, panela y ranchero (elaborado con leche cruda) contiene péptidos bioactivos con actividad antioxidante (fracción 5 kDa a 10 kDa) y antihipertensiva (fracción 1 kDa a 3 kDa) *in vitro* (Tarango-Hernández y col., 2015).

#### Lípidos

Dentro de la fracción lipídica de la leche, se encuentran dos sistemas de fosfolípidos de membrana, que consisten de lipoproteínas ligadas a fosfolípidos y triglicéridos: los lípidos de membrana de leche descremada (SMM, por sus siglas en inglés: Skim Milk Membrane) y los lípidos de MFGM (Jiménez-Flores y Brisson, 2008). Los glicerofosfolípidos y esfingolípidos constituyen aproximadamente el 1 % de los fosfolípidos de la fracción MFGM (Elías-Argote y col., 2013). Los esfingolípidos, como la esfingosina, ceramida y esfingomielina, presentan propiedades bioactivas, asociadas con la modulación de diferentes funciones fisiológicas y proceso patológico, tales como, el crecimiento y diferenciación celular, angiogénesis, regulación de procesos inflamatorios, enfermedades cardiovasculares y cáncer (Contarini y

Povolo, 2013). Además, también se pueden encontrar una gran proporción de ácido oléico (C18:1), palmítico (C16:0), linoléico (C18:2,  $\omega$ -6) y  $\alpha$ -linolénico (C18:3,  $\omega$ -3), los cuales han mostrado (especialmente los ácidos grasos poliinsaturados) un efecto protector contra infecciones bacterianas, fúngicas, virales y parasitarias (Thormar y Hilmarsson, 2007; Benjamin y col., 2015).

### Lactosa y galacto-oligosacáridos (GOS)

El suero es una fuente importante de lactosa, el cual es un disacárido de gran valor biológico, que estimula la absorción intestinal de calcio, favoreciendo la mineralización ósea y el crecimiento de bifidobacterias benéficas para la salud colorectal. Los GOS, como los sialiloligosacáridos (i.e. sialilactosa) y otros oligosacáridos ácidos, que generalmente se encuentran en la leche materna y calostro, son abundantes en el lactosuero (Barile y col., 2009). La lactosa también se puede utilizar como materia prima para producción de ácidos orgánicos (e.g., láctico, acético, entre otros), y mediante procesos enzimáticos y fermentativos, sintetizar una gran diversidad de compuestos, como galactooligosacáridos, tagatosa, lactulosa, lactosucrosa, glucosilactosa y heterooli-

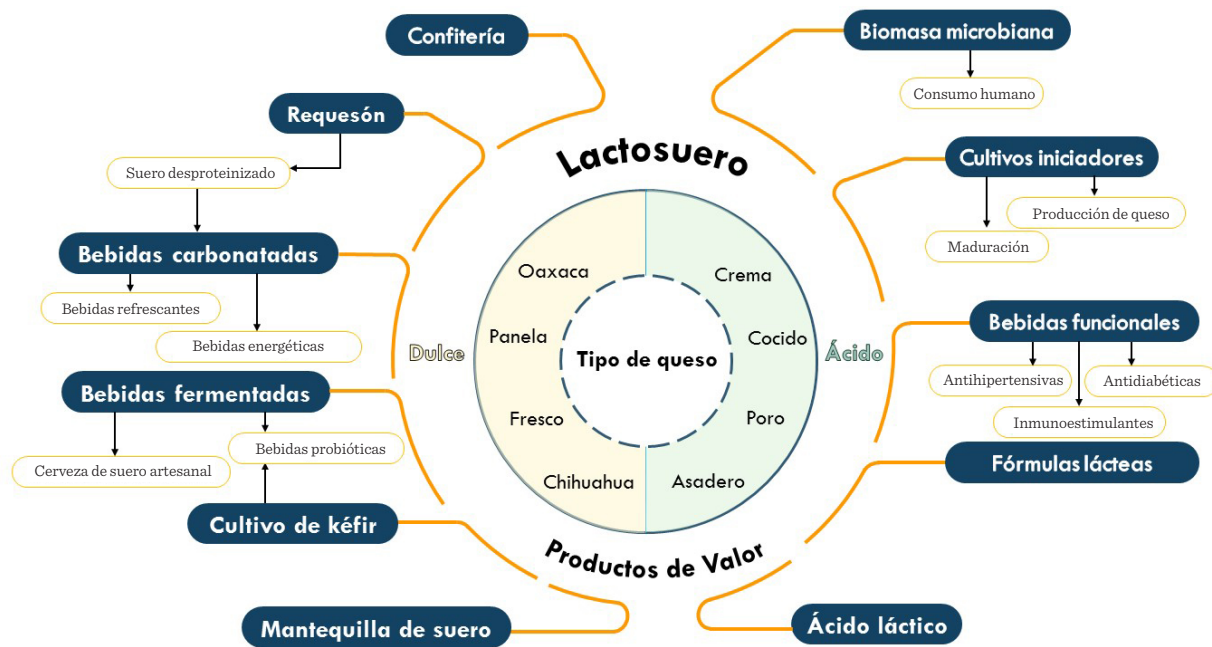
gosacáridos, los cuales presentan propiedades bifidogénicas, con efectos antiinflamatorios (Fischer y Kleinschmidt, 2015; Nath y col., 2016). Estos compuestos presentan alta demanda por la industria farmacéutica, como auxiliares en el tratamiento de diferentes enfermedades crónico-degenerativas.

### Opciones de aprovechamiento del lactosuero por queserías artesanales

La quesería familiar y productores de mediana escala, pueden aprovechar el lactosuero en la elaboración de productos alimenticios, como los que se muestran en la Figura 1. La infraestructura tecnológica requerida, para elaborar algunos de estos productos, forma parte de una infraestructura básica (tinajas, tanques, marmitas, enfriadores, agitadores, entre otros) con la que cuenta la mayoría de estas empresas.

### Elaboración de queso de suero

La forma más tradicional en que la industria quesera aprovecha el lactosuero es mediante la producción de queso de suero, siendo el más conocido en México. El proceso de elaboración involucra la desnaturalización térmica de la fracción proteica (mayoritariamente  $\beta$ -LG,  $\alpha$ -LA). Los diferentes tipos de que-



■ Figura 1. Opciones de procesamiento del lactosuero de quesería artesanal para su valorización.  
Figure 1. Processing options for artisanal cheese whey to add value.

so de suero presentan algunas variantes en su elaboración y pueden incluir la adición de ácidos orgánicos, crema, leche entera o leche en polvo durante su manufactura (Pintado y col., 2001). El queso ricotta es originario de Italia y su variante en México y Latinoamérica se conoce como requesón. Sin embargo, en otras partes del mundo, tales como Rumania y Hungría, este tipo de quesos se conocen como “Urda”, y en Portugal como “Requeijão”, cada uno con sus notas distintivas de sabor y textura, las cuales se encuentran asociadas a su proceso de elaboración. Su demanda y producción se ha extendido a países como Estados Unidos y Canadá, donde generalmente son comercializados como queso ricotta (Pizzillo y col., 2005). En Grecia, los quesos “Myzithra”, “Manouri” y “Anthotiro”, son altamente valorados por las características de sabor que poseen, ya que se elaboran con lactosuero proveniente de la fabricación de quesos de leche de cabra y oveja o mezclas de estas (Alichanidis y Polychroniadou, 2008; Pappa y col., 2016). Otras variantes de quesos elaborados con lactosuero son los quesos noruegos “mysost” y “geitost”, los cuales se caracterizan por presentar un sabor dulce y acaramelado, debido al proceso de condensación del lactosuero, que se realiza durante su elaboración (Królczyk y col., 2016).

El requesón producido en México es un producto fresco, que posee una consistencia granular, habitualmente de textura blanda cremosa y sabor semidulce (Villarruel-López y col., 2016). El requesón tradicional generalmente se elabora mediante procesos no estandarizados, con rendimientos que oscilan de 4.7 % a 6.5 % p/v (1 kg de requesón por 20 L de suero) o mayor si se utilizan mezclas de suero: leche (8:2 v/v) (Ramírez-Rivas y Chávez-Martínez, 2017).

El requesón artesanal, tiene alta demanda a nivel nacional e internacional, por lo que existe un nicho de mercado atractivo para que las queserías artesanales consideren aprovechar el lactosuero en la producción de este producto, ya que la infraestructura requeri-

da en su elaboración es mínima. La elaboración de productos, como el requesón, coadyuvaría en gran medida a reducir pérdidas de componentes nutricionales, biológicos y funcionalmente valiosos, como las proteínas del lactosuero.

### **Bebidas lácteas a partir de lactosuero**

La industria de bebidas en México tiene un valor de 11 700 millones de dólares, según datos de la Secretaría de Economía (SE, 2014), y de acuerdo con la Asociación Nacional de Productores de Refrescos y Aguas Carbonatadas (ANPRAC, 2014), las bebidas alcohólicas y carbonatadas son las de mayor demanda, con un crecimiento anual del 7.9 % y 5.1 %, respectivamente. El incremento en la preferencia del consumidor, por bebidas más naturales y saludables, ha permitido una evolución y diversificación del mercado hacia un nuevo grupo de bebidas funcionales, con efectos benéficos a la salud. El aprovechamiento del lactosuero, en la formulación en este tipo de bebidas, obedece tanto a la necesidad de reincorporar los componentes nutricionales y funcionales de este subproducto a la dieta humana, así como aprovechar la versatilidad funcional de sus componentes.

### **Bebidas de lactosuero con fruta**

Las bebidas de lactosuero entero se elaboran mediante la pasteurización de suero fresco, degasificado, y adecuaciones en el color, sabor y aroma, para su embotellado. En algunas ocasiones se contempla la adición de sal, dióxido de carbono y concentrados de frutas. Las principales frutas utilizadas para la formulación de estas bebidas han sido jugos de cítricos (e.g. naranja, limón) (Sady y col., 2013). Además, los néctares de frutas como mango, fruta de la pasión (maracuyá), melón, plátano, pera, manzana, y frutillas de grosella, arándano, fresa, frambuesa, moras y saborizantes artificiales (vainilla, cocoa, chocolate y menta) también se han utilizado (Djurić y col., 2004; Naik y col., 2009). La mezcla del lactosuero líquido, con diferentes jugos de frutas, resulta muy atractiva desde el punto de vista organoléptico, nutricional y funcional. La presencia de

antioxidantes naturales (e.g. polifenoles, ácido hidroxicinámico, flavonas, pro-antocianidinas) incrementan la vida de anaquel de las bebidas y aportan un efecto benéfico a la salud (Grazyna y col., 2014; Baba y col., 2016). El aprovechamiento de frutos de temporada, en la producción de este tipo de bebidas, representa una opción muy conveniente para los pequeños productores de quesos artesanales, ya que el procesamiento es mínimo y la inversión en maquinaria baja.

### Bebidas de lactosuero fermentado

Los productos lácteos (e.g. queso, suero, yogurt y leches fermentadas) proporcionan grandes beneficios a la salud intestinal, ya que son fuentes importantes de probióticos y tienen la capacidad de producir o liberar compuestos bioactivos, con propiedades antihipertensivas, inmunomoduladoras, anticarcinogénicas e hipocolesterolémicas, lo que ha resaltado su valor, por su potencial para el tratamiento de enfermedades crónicas degenerativas, como la hipertensión, cáncer y obesidad (Santiago-López y col., 2015; Beltrán-Barrientos y col., 2016). El lactosuero puede ser sometido a un proceso de fermentación, ya sea mediante el aprovechamiento de la flora nativa o incorporando cultivos iniciadores de cepas específicas, como *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium* spp, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus*. Los granos de kéfir (consorcio de bacterias lácticas, acéticas y complejo de levaduras), se han utilizado exitosamente para preparar bebidas fermentadas a base de lactosuero. El uso de dichos consorcios microbianos resulta ser más atractivo que el uso de inóculos específicos, ya que genera perfiles de aromas y sabores más complejos. Además, durante la fermentación del lactosuero se producen azúcares y exopolisacáridos, que contribuyen a la textura del producto, así como compuestos con actividad biológica-funcional (Teixeira y col., 2010; Londero y col., 2015). La fermentación del lactosuero (adicionado con azúcares) con cepas de levaduras, también puede elevar ligeramente su grado alcohólico, así como un efecto es-

pumoso, de una bebida tipo champagne (Hernandez-Mendoza y col., 2007).

### Bebidas alcohólicas de lactosuero

Este grupo de bebidas presentan diferencias marcadas en su graduación alcohólica, abarcando aquellas con un bajo contenido (1 %) y las bebidas tipo cerveza o vino, que pueden contener hasta 11 % de alcohol (Kosikowski y Wzorek, 1977). El proceso de manufactura consiste en concentrar lactosuero desproteínizado y adicionarle azúcares fermentables. Algunos procesos involucran una combinación de fermentaciones lácticas-alcohólicas. La fermentación láctica se realiza con cultivos iniciadores, como granos de kéfir o cultivos de yogurth (incluyen levadura con capacidad de fermentar lactosa), mientras que para la fermentación alcohólica se utilizan cepas de *Saccharomyces cerevisiae*. La producción de bebidas tipo cerveza resulta ser muy atractiva, ya que el lactosuero contiene coloides con características similares a las encontradas en cerveza, especialmente para ligar ácido carbónico. El lactosuero se puede emplear hasta en un 50 % para sustituir mosto de malta, comúnmente usado para la producción de cerveza, obteniéndose una bebida con excelente calidad sensorial, nutricional y similar graduación alcohólica (Nayeem y col., 2015).

Por otro lado, con el lactosuero entero o desproteínizado, también se pueden preparar vinos con notas frutales, mediante la adición de néctares de frutas. El tratamiento enzimático con lactasa ( $\beta$ -galactosidasa) incrementa el contenido de glucosa y galactosa, utilizables por cepas de levadura productoras de alcohol (Gawel y Kosikowski, 1978).

### Cervezas artesanales

En México, la producción de cervezas artesanales ha mostrado un crecimiento sostenido los últimos 6 años (Deloitte, 2017). La innovación cervecera artesanal se basa en proponer el empleo de diversos ingredientes, con sabores nuevos y distintos. El potencial del lactosuero en la producción de cerveza ha si-

do considerado en otros países. Recientemente, Arla Foods® desarrolló una línea de cerveza, comercializada bajo la marca Blue Brew®, que reincorpora el lactosuero proveniente del queso artesanal Stilton, variedad azul. La cerveza contiene 4.2 % de graduación alcohólica y presenta exquisitas notas lácteas en su sabor y textura cremosa (Arla Foods, 2018). No obstante, el uso del lactosuero en la producción de cervezas requiere de ciertas adecuaciones, como el uso de especies de levadura diferentes a *S. Cerevisae*, las cuales, deben tener la capacidad de utilizar lactosa, tales como *Kluyveromyces lactis* y *Kluyveromyces marxianus* (Rubio-Teixeira, 2006). Además, la levadura debe ser capaz de producir perfiles de sabor y aroma (utilizando los componentes del suero), similar al que se obtiene en el proceso cervecero convencional (Kobayashi y col., 2008; Dragone y col., 2009).

#### Bebidas para deportistas a partir de lactosuero

Este tipo de bebidas se encuentra en constante crecimiento y se elaboran a partir de lactosuero parcial o totalmente desproteinizado, adicionadas con minerales, principalmente sodio (20 mmol/L a 30 mmol/L) y potasio (5 mmol/L), y una mezcla de carbohidratos simples (80 g/L), usualmente glucosa, fructosa y sacarosa (Valadao y col., 2016). El lactosuero generado de la obtención del queso Ricotta (Valadao y col., 2016), el permeado de la ultrafiltración de leche (Manninen, 2009), aislados de proteínas (WPI, por sus siglas en inglés: Whey Protein Isolate), concentrados de proteínas de suero (WPC-80, por sus siglas en inglés: Whey Protein Concentrate) e hidrolizados, se han utilizado para preparar estas bebidas (Chavan y col., 2015). Las proteínas de lactosuero ejercen efectos fisiológicos y nutricionales, importantes en los deportistas, aumentando significativamente su desarrollo muscular en atletas bajo rutinas de alta resistencia (Beelen y col., 2008). Estos efectos fisiológicos se han atribuido al contenido de aminoácidos esenciales presentes en las proteínas lácteas, y el alto contenido de aminoácidos ramificados en las pro-

teínas del lactosuero, cuya biodisponibilidad aumenta con el proceso de hidrólisis, mejorando la síntesis proteica en atletas y rápida recuperación después de un ejercicio exhaustivo (Volpi y col., 2003). Además, los hidrolizados con propiedades bioactivas, o fisiológica-funcionales, pueden mejorar la salud de los deportistas (Yadav y col., 2015).

#### Recuperación de crema y mantequilla

El contenido de grasa en el lactosuero depende del proceso y tipo de queso elaborado. La mantequilla de suero presenta un mayor contenido en ácidos grasos insaturados y componentes bioactivos valiosos (e.g. esfingomielina y mucinas), que la mantequilla dulce elaborada con crema (Jinjarak y col., 2006). La mantequilla de suero posee propiedades emulsificantes y sensoriales atractivas para la industria de la panificación, producción de pastas y salsas. La mantequilla de suero se puede reincorporar al proceso durante la elaboración de quesos de textura suave, untables o tipo crema (Cruz y col., 2009). El suero remanente (suero de mantequilla) se puede aprovechar para elaborar productos fermentados, con cepas específicas de bacterias ácido lácticas. Fermentos que pueden ser utilizados como ingrediente funcional para potenciar el sabor, aroma y calidad nutricia de algunos quesos (Hickey y col., 2018).

#### Reincorporación del lactosuero al proceso de elaboración de queso

Las proteínas de suero pueden ser reincorporadas al proceso de quesería, tanto en su forma nativa, aislados proteicos o como proteína desnaturalizada, en forma de agregados o microparticulados proteicos. Con esto, el rendimiento quesero se ve incrementado entre 12 % y 15 %, asociado a una mayor retención de proteínas séricas, lactosa y agua en la matriz caseica (Hinrichs, 2001). Los quesos enriquecidos con proteína sérica presentan buena calidad, no obstante, es necesario considerar la máxima cantidad de proteína sérica que puede incorporarse para no afectar las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de los quesos (Giroux y col., 2018).



### Usos del lactosuero en la preparación de base para helados, paletas y nieves

La tendencia en la producción y consumo de productos helados y nieve es hacia productos con un menor contenido de grasa (ingredientes hipocalóricos). Sin embargo, el componente graso juega un papel clave para el desarrollo de la textura, sabor y perfil de aroma, deseables en helados y nieves (Roland y col., 1999). La incorporación de lactosuero en forma de polvo, concentrados y aislados proteicos, así como microparticulados de proteínas, han sido adecuados para sustituir la grasa en estos productos (Krzeminski y col., 2013; Torres y col., 2018). El lactosuero fresco ha sido utilizado con éxito en la elaboración de helados saborizados o con frutas (Yilsay y col., 2006). El suero en polvo podría sustituir insumos de alto costo, como la leche en polvo, mientras que en estado líquido o pre-concentrado, también puede ser utilizado en la fabricación de paletas, fórmulas lácteas, así como en la elaboración de base para helados (mixturas) (Cohene y col., 2016; Gajo y col., 2017).

### Usos del lactosuero en panadería y confitería

El suero de quesería puede ser utilizado en la elaboración de productos de panadería y confitados, debido a la funcionalidad de sus componentes. Tanto el lactosuero crudo, como sus preparaciones, en forma de concentrados, aislados y permeado, pueden ser usados para remplazar total o parcialmente ingredientes como el huevo, leche en polvo, mantequilla y sacarosa (Królczyk y col., 2016). Además, el lactosuero se utiliza ampliamente para conseguir características deseables en color, sa-

bor y consistencia en cobertura de helados, jarabes de chocolate, dulce de leche y tofu, así como elevar el valor nutricional de productos horneados, tales como biscochitos, galletas, *muflins*, y bollos (Munaza y col., 2012; Hartel y col., 2018). El lactosuero en polvo, líquido o pre-concentrado, también se puede usar en la fabricación de dulces o postres de leche (Cohene y col., 2016; Gajo y col., 2017).

### CONCLUSIONES

El lactosuero, generado por la industria quesera artesanal, ofrece un gran potencial para el desarrollo de productos con alto valor agregado. El aprovechamiento de las propiedades funcionales, nutritivas y bioactivas de los componentes del lactosuero, en la elaboración de productos, tales como, requesón, mantequilla, dulces y bebidas, ofrece opciones tecnológicas adecuadas para la industria quesera de baja tecnificación. Su utilización como materia prima en la obtención de co-productos, mediante el uso de la infraestructura disponible, es una alternativa viable para agregar valor al lactosuero e incrementar la rentabilidad económica de estas pequeñas y medianas empresas, optimizando el aprovechamiento integral de sus recursos con un enfoque sustentable.

### AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) de México por el apoyo otorgado al Proyecto de Desarrollo Científico para Atender Problemas Nacionales, PDCPN 2014-1, No. 248100.

### REFERENCIAS

Alichanidis, E. and Polychroniadou, A. (2008). Characteristics of major traditional regional cheese varieties of East-Mediterranean countries: A review. *Dairy Science & Technology*. 88(4-5): 495-510.

ANPRAC, Asociación Nacional de Productores de Refrescos y Aguas Carbonatadas (2014). La industria refresquera mexicana. [En línea]. Disponible en: <http://anprac.org.mx/industria-refresquera-incrementa-3-8-susventas-en-2016/>. Fecha de consulta: 15 de marzo de 2018.

Arla Foods (2018). The whey to brew beer. [En línea]. Disponible en: <https://www.arlafoods.co.uk/overview/news-press/2016/pressrelease/the-wheyto-brew-beer-1664507/>. Fecha de consulta: 20 de marzo de 2018.

Baba, W. N., Din, S., Punoo, H. A., Wani, T. A., Ahmad M., and Masoodi, F. A. (2016). Comparison of cheese and paneer whey for production of a functional pineapple beverage: Nutraceutical properties and shelf life. *Journal of Food Science and Technology*. 53(6): 2558-2568.

- Barile, D., Tao, N., Lebrilla, C. B., Coisson, J. D., Arlorio, M., and German, J. B. (2009). Permeate from cheese whey ultrafiltration is a source of milk oligosaccharides. *International Dairy Journal*. 19(9): 524-530.
- Beelen, M., Koopman, R., Gijzen, A. P., Vandereyt, H., Kies, A. K., Kuipers, H., ..., and van-Loon, L. J. (2008). Protein coingestion stimulates muscle protein synthesis during resistance-type exercise. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*. 295(1): 70-77.
- Beltrán-Barrientos, L. M., Hernández-Mendoza, A., Torres-Llanez, M. J., González-Córdova, A. F., and Vallejo-Córdoba, B. (2016). Fermented milk as antihypertensive functional food. *Journal of Dairy Science*. 99(6): 4099-4110.
- Benjamin, S., Prakasan, P., Sreedharan, S., Wright, A. D. G., and Spener, F. (2015). Pros and cons of CLA consumption: An insight from clinical evidences. *Nutrition & Metabolism*. 12(1): 4.
- Castañeda-Martínez, T., Boucher, F., Sánchez-Vera, E., and Espinoza-Ortega, A. (2009). La concentración de agroindustrias rurales de producción de quesos en el noroeste del Estado de México: un estudio de caracterización. *Estudios sociales*. 17(34): 73-109.
- Chatterton, D. E. W., Smithers, G., Roupas, P., and Brodtkorb, A. (2006). Bioactivity of lactoglobulin and  $\alpha$ -lactalbumin-Technological implications for processing *International Dairy Journal*. 16(11): 1229-1240.
- Chavan, R., Shraddha, R., Kumar, A., and Nalawade, T. (2015). Whey based beverage: its functionality, formulations, health benefits and applications. *Journal of Food Processing & Technology*. 6(10): 1-8.
- Cohene, M., Sandoval, A., Dinatale, F. y Sarubbi, A. (2016). Estudio comparativo de la composición fisicoquímica y organoléptica del dulce de leche de elaboración artesanal utilizando leche y suero dulce de queso en una proporción 70/30, con y sin hidrolizado de la mezcla. *Compendio de Ciencias Veterinarias*. 6(1): 17-23.
- Contarini, G. and Povolo, M. (2013). Phospholipids in milk fat: composition, biological and technological significance, and analytical strategies. *International Journal of Molecular Sciences*. 14(2): 2808-2831.
- Cruz, A. G., Sant'Ana, A. d. S., Macchione, M. M., Teixeira, Á. M., and Schmidt, F. L. (2009). Milk drink using whey butter cheese (queijo manteiga) and acerola juice as a potential source of vitamin C. *Food and Bioprocess Technology*. 2(4): 368-373.
- Delavari, B., Saboury, A. A., Atri, M. S., Ghasemi, A., Bigdeli, B., Khammari, A., ..., and Goliaei, B. (2015). Alpha-lactalbumin: A new carrier for vitamin D3 food enrichment. *Food Hydrocolloids*. 45: 124-131.
- Deloitte (2017). La Cerveza Artesanal, una experiencia multisensorial. [En línea]. Disponible en: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/mx/Documents/consumer-business/2017/Cerveza-Artesanal-Mexico-2017.pdf> Fecha de consulta: 9 de abril de 2019.
- Djurić, M., Carić, M., Milanović, S., Tekić, M., and Parnić, M. (2004). Development of wheybased beverages. *European Food Research and Technology*. 219(4): 321-328.
- Dragone, G., Mussatto, S. I., Oliveira, J. M., and Teixeira, J. A. (2009). Characterisation of volatile compounds in an alcoholic beverage produced by whey fermentation. *Food Chemistry*. 112(4): 929-935.
- Dullius, A., Goettert, M. I., and de-Souza C. F. V. (2018). Whey protein hydrolysates as a source of bioactive peptides for functional foods- Biotechnological facilitation of industrial scale-up. *Journal of Functional Foods*. 42: 58-74.
- Elías-Argote, X., Laubscher, A., and Jiménez-Flores, R. (2013). Dairy ingredients containing milk fat globule membrane: description, composition, and industrial potential. *In Advances in Dairy Ingredients*. 71-98.
- Fischer, C. and Kleinschmidt, T. (2015). Synthesis of galactooligosaccharides using sweet and acid whey as a substrate. *International Dairy Journal*. 48: 15-22.
- Forster, R., Bourtourault, M., Chung, Y. J., Silvano, J., Sire, G., Spezia, F., ..., and Mikogami, T. (2014). Safety evaluation of a whey protein fraction containing a concentrated amount of naturally occurring TGF- $\beta$ 2. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 69(3): 398-407.
- Gajo, A., de-Resende, J., Costa, F., Pereira, C. G., de-Lima, R. R., Antonialli, F., and de Abreu, L. R. (2017). Effect of hydrocolloids blends on frozen dessert "popsicles" made with whey concentrated. *LWT - Food Science and Technology*. 75: 473-480.
- Gauthier, S. F., Pouliot, Y., and Saint-Sauveur, D. (2006). Immunomodulatory peptides obtained by the enzymatic hydrolysis of whey proteins. *International Dairy Journal*. 16(11): 1315-1323.
- Gawel, J. and Kosikowski, F. V. (1978). Application of acid lactase to wine making from Cottage cheese whey concentrates. *Journal of Food Science*. 43(3): 1031-1032.
- Giroux, H., Veillette, N., and Britten, M. (2018). Use of denatured whey protein in the production of artisanal cheeses from cow, goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*. 161: 34-42.
- González-Córdova, A. F., Yescas, C., Ortiz-Estrada, Á. M., De-la-Rosa-Alcaraz, M. d. l. Á., Hernández-Mendoza, A., and Vallejo-Córdoba, B. (2016). Invited review: Artisanal Mexican cheeses. *Journal of Dairy Science*. 99(5): 3250-3262.

- Grazyna, J., Grega, T., Sady, M., Bernas, E., and Pogoń, K. (2014). Quality of apple-whey and apple beverages over 12-month storage period. *Journal of Food & Nutrition Research*. 53(2): 117-126.
- Hartel, R. W., von-Elbe, J. H., and Hofberger, R. (2018). Caramel, fudge and toffee. *Confectionery science and Technology*. Springer International Publishing. 273 Pp.
- Hernández-Ledesma, B., Ramos, M., and Gómez-Ruiz, J. Á. (2011). Bioactive components of ovine and caprine cheese whey. *Small Ruminant Research*. 101(1-3): 196-204.
- Hernandez-Mendoza, A., Robles, V. J., Angulo, J. O., De-La-Cruz, J., and Garcia, H. S. (2007). Preparation of a whey-based probiotic product with *Lactobacillus reuteri* and *Bifidobacterium bifidum*. *Food Technology and Biotechnology*. 45(1): 27-31.
- Hickey, C. D., O'Sullivan, M. G., Davis, J., Scholz, D., Kilcawley, K. N., Wilkinson, M. G., and Sheehan, J. J. (2018). The effect of buttermilk or buttermilk powder addition on functionality, textural, sensory and volatile characteristics of Cheddar-style cheese. *Food Research International*. 103: 468-477.
- Hinrichs, J. (2001). Incorporation of whey proteins in cheese. *International Dairy Journal*. 11(4): 495-503.
- Hoffman, J. R. and Falvo, M. J. (2004). Protein-Which is best. *Journal of Sports Science and Medicine*. 3(3): 118-130.
- Jiménez-Flores, R. and Brisson, G. (2008). The milk fat globule membrane as an ingredient: why, how, when? *Dairy Science & Technology*. 88(1): 5-18.
- Jinjarak, S., Olabi, A., Jiménez-Flores, R., and Walker, J. (2006). Sensory, functional, and analytical comparisons of whey butter with other butters. *Journal of Dairy Science*. 89(7): 2428-2440.
- Kobayashi, M., Shimizu, H., and Shioya, S. (2008). Beer volatile compounds and their application to low-malt beer fermentation. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 106(4): 317-323.
- Kosikowski, F. V. and Wzorek, W. (1977). Whey wine from concentrates of reconstituted acid whey powder. *Journal of Dairy Science*. 60(12): 1982-1986.
- Królczyk, J. B., Dawidziuk, T., Janiszewska-Turak, E., and Sołowiej, B. (2016). Use of whey and whey preparations in the food industry: A review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 66(3): 157-165.
- Krzeminski, A., Tomaschunas, M., Köhn, E., Busch-Stockfisch, M., Weiss, J., and Hinrichs J. (2013). Relating creamy perception of whey protein enriched yogurt systems to instrumental data by means of multivariate data analysis. *Journal of Food Science*. 78(2): S314-S319.
- Londero, A., Iraporda, C., Garrote, G. L., and Abraham, A. G. (2015). Cheese whey fermented with kefir micro-organisms: Antagonism against salmonella and immunomodulatory capacity. *International Journal of Dairy Technology*. 68(1): 118-126.
- Manninen, A. (2009). Protein hydrolysates in sports nutrition. *Nutrition & Metabolism*. 6(38): 1-5.
- Mehra, R., Marnila, P., and Korhonen, H. (2006). Milk immunoglobulins for health promotion. *International Dairy Journal*. 16(11): 1262-1271.
- Mollea, C., Marmo L., and Bosco, F. (2013). Valorisation of cheese whey, a by-product from the dairy industry, in food industry. InTech. [En línea]. Disponible en: <https://www.intechopen.com/books/food-industry/valorisation-of-cheese-whey-a-by-product-from-the-dairy-industry>. Fecha de consulta: 18 de marzo de 2018.
- Munaza, B., Prasad, S., and Gayas, B. (2012). Whey protein concentrate enriched biscuits. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 2(8): 1-4.
- Naik, Y., Khare, A., Choudhary, P., Goel, B., and Shrivastava A. (2009). Studies on physico-chemical and sensory characteristics of whey based watermelon beverage. *Asian Journal of Research in Chemistry*. 2(1): 57-59.
- Nath, A., Verasztó, B., Basak, S., Koris, A., Kovacs, A., and Vatai, G. (2016). Synthesis of lactose-derived nutraceuticals from dairy waste whey—A review. *Food and Bioprocess Technology*. 9(1): 16-48.
- Nayeem, M., Singh, A., Broadway A. A., and Singh, M. (2015). Technology for manufacturing of whey beer by incorporating malt wort. *The Allahabad Farmer*. 71(1): 34-37.
- Pappa, E. C., Samelis, J., Kondyli, E., and Pappas, A. C. (2016). Characterisation of Urda whey cheese: Evolution of main biochemical and microbiological parameters during ripening and vacuum packaged cold storage. *International Dairy Journal*. 58: 54-57.
- Pintado, M., Macedo, A., and Malcata, F. (2001). Review: Technology, chemistry and microbiology of whey cheeses. *Food Science and Technology International*. 7(2): 105-116.
- Pizzillo, M., Claps, S., Cifuni, G. F., Fedele V., and Rubino, R. (2005). Effect of goat breed on the sensory, chemical and nutritional characteristics of ricotta cheese. *Livestock Production Science*. 94(1-2): 33-40.
- Ramírez-Rivas, I. K. y Chávez-Martínez, A. (2017). Efecto del ultrasonido aplicado al suero de leche previo al calentamiento en la elaboración de requesón. *Interciencia*. 42(12): 828-833.
- Rammer, P., Groth-Pedersen, L., Kirkegaard, T., Daugaard, M., Rytter, A., Szyniarowski, P., ..., and Jäätelä, M. (2010). BAMLET activates a lysosomal cell death program in cancer cells. *Molecular Cancer Therapeutics*. 9(1): 24-32.

- Roland, A. M., Phillips, L. G., and Boor, K. J. (1999). Effects of fat content on the sensory properties, melting, color, and hardness of ice cream. *Journal of Dairy Science*. 82(1): 32-38.
- Rubio-Teixeira, M. (2006). Endless versatility in the biotechnological applications of *Kluyveromyces* LAC genes. *Biotechnology Advances*. 24(2): 212-225.
- Sady, M., Jaworska, G., Grega, T., Bernas, E., and Domagala, J. (2013). Application of acid whey in orange drink production. *Food Technology and Biotechnology*. 51(2): 266-277.
- Salcedo, J., Lacomba, R., Alegría, A., Barbera, R., Matencio, E., and Lagarda, M. J. (2011). Comparison of spectrophotometric and HPLC methods for determining sialic acid in infant formulas. *Food Chemistry*. 127(4): 1905-1910.
- Santiago-López, L., Hernández-Mendoza, A., Garcia, H. S., Mata-Haro, V., Mata-Haro, V., Vallejo-Cordoba B., and Gonzalez-Cordova, A. F. (2015). The effects of consuming probiotic-fermented milk on the immune system: A review of scientific evidence. *International Journal of Dairy Technology*. 68(2): 153-165.
- SE, Secretaría de Economía (2014). *Industria refresquera en México*. [En línea]. Disponible en: <https://www.gob.mx/se/articulos/industria-refresquera-en-mexico>. Fecha de consulta: 15 de marzo de 2018.
- SIAP, Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (2016). *Estadística de producción pecuaria: leche de bovino*. [En línea]. Disponible en: [http://infosiap.siap.gob.mx/anpecuario\\_siapx\\_gobmx/ResumenNacional.do](http://infosiap.siap.gob.mx/anpecuario_siapx_gobmx/ResumenNacional.do). Fecha de consulta: 10 de marzo de 2018.
- Smithers, G. W. (2008). Whey and whey proteins-From 'gutter-to-gold'. *International Dairy Journal*. 18(7): 695-704.
- Tarango-Hernández, S., Alarcón-Rojo, A. D., Robles-Sánchez, M., Gutiérrez-Méndez, N., and Rodríguez-Figueroa, J. C. (2015). Short communication: Potential of Fresco-style cheese whey as a source of protein fractions with antioxidant and angiotensin-I-converting enzyme inhibitory activities. *Journal of Dairy Science*. 98(11): 7635-7639.
- Teixeira, K., Pereira, M. A., Nicolau, A., Dragone, G., Domingues, L., Teixeira, J. A., ..., and Schwan, R. F. (2010). Production of fermented cheese whey-based beverage using kefir grains as starter culture: Evaluation of morphological and microbial variations. *Bioresource Technology*. 101(22): 8843-8850.
- Thormar, H. and Hilmarsen, H. (2007). The role of microbicidal lipids in host defense against pathogens and their potential as therapeutic agents. *Chemistry and Physics of Lipids*. 150(1): 1-11.
- Torres, I. C., Amigo, J. M., Knudsen, J. C., Tolkach, A., Mikkelsen, B. Ø., and Ipsen, R. (2018). Rheology and microstructure of low-fat yoghurt produced with whey protein microparticles as fat replacer. *International Dairy Journal*. 81: 62-71.
- Valadao, N., Andrade, M., Jory, J., Gallo, F., and Petrus, R. (2016). Development of a Ricotta Cheese Whey-based Sports Drink. *Journal of Advanced Dairy Research*. 4(3): 156-162.
- Villarruel-López, A., Castro-Rosas, J., Gómez-Aldapa, C. A., Nuño, K., Torres-Vitela, M. R., Martínez-González, N. E., and Garay-Martínez, L. E. (2016). Indicator microorganisms, Salmonella, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcal enterotoxin*, and physicochemical parameters in requeson cheese. *African Journal of Food Science and Technology*. 10(9): 178-184.
- Villegas-de-Gante, A. y Cervantes-Escoto, F. (2011). La genuinidad y tipicidad en la revalorización de los quesos artesanales mexicanos. *Estudios Sociales*. 19(38): 145-164.
- Volpi, E., Kobayashi, H., Sheffield-Moore, M., Mittendorfer, B., and Wolfe, R. R. (2003). Essential amino acids are primarily responsible for the amino acid stimulation of muscle protein anabolism in healthy elderly adults. *The American journal of clinical nutrition*. 78(2): 250-258.
- Wang, Y. (2009). Prebiotics: Present and future in food science and technology. *Food Research International*. 42(1): 8-12.
- Wong, N. P., LaCroix, D. E., and McDonough, F. E. (1978). Minerals in whey and whey fractions. *Journal of Dairy Science*. 61(12): 1700-1703.
- Yadav, J. S. S., Yan, S., Pilli, S., Kumar, L., Tyagi, R. D., and Surampalli, R. Y. (2015). Cheese whey: Apotential resource to transform into bioprotein, functional/nutritional proteins and bioactive peptides. *Biotechnology Advances*. 33(6): 756-774.
- Yilsay, T. Ö., Yilma L., and Bayazit, A. A. (2006). The effect of using a whey protein fat replacer on textural and sensory characteristics of low-fat vanilla ice cream. *European Food Research and Technology*. 2 22(1-2): 171-175.