

Lactosuero: características, propiedades nutraceuticas y aplicaciones

Whey: characteristics, nutraceutical properties and applications

Dra. Alma Elizabeth Cruz Guerrero¹

M.C. Lorena Gómez Ruiz¹

M.C. Luis Fernando Patlan Velazquez¹

¹Departamento de Biotecnología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco 186, Col. Vicentina, Ciudad de México. 09340, México.

correo electrónico: aec@xanum.uam.mx

ORCID: 0000-0002-9686-2267

Área del artículo: Biotecnología y Ciencias Agropecuarias

Resumen

El lactosuero es el producto generado por la industria quesera donde se concentra la mayor parte de los compuestos hidrosolubles de la leche, como son proteínas del suero, carbohidratos, lípidos y nutrimentos inorgánicos. El objetivo del presente trabajo es el reportar las características fisicoquímicas y funcionales del lactosuero, así como señalar algunos de los desarrollos tecnológicos a partir de lactosuero más relevantes de los últimos años. En la parte de la funcionalidad se hace énfasis en los péptidos bioactivos (fragmentos de proteínas que han mostrado un efecto benéfico en la salud) que se han producido a partir de las proteínas de lactosuero. De los desarrollos tecnológicos se mencionan los quesos de suero, producidos a partir de la precipitación de las proteínas de lactosuero, así como las bebidas elaboradas con lactosuero, tanto aquel que se fermenta como el que no. Finalmente se mencionan algunas patentes mexicanas de productos desarrollados a partir de lactosuero y algunas perspectivas a futuro sobre el aprovechamiento de este producto.

Palabras clave: lactosuero, proteínas del suero, péptidos bioactivos, desarrollos tecnológicos.

Abstract

Whey is the product generated by the cheese industry where most of the water-soluble compounds of milk, such as whey proteins, carbohydrates, lipids and inorganic nutrients, are concentrated. The objective of the present work is to report the physicochemical and functional characteristics of whey, as well as to point out some of the most relevant technological developments from whey in recent years. In the functional part, emphasis is placed on the bioactive peptides (protein fragments that have shown a beneficial effect on health) that have been produced from whey proteins. Of the technological developments, whey cheeses are mentioned, produced from the precipitation of whey proteins, as well as beverages made from whey, both fermented and unfermented. Finally, some

Mexican patents of products developed from whey are mentioned, as well as some future perspectives on the use of this product.

Key words: whey, whey proteins, bioactive peptides, technological developments

Introducción

La industria quesera en México es de las más importantes en el rubro alimentario, llegando a ocupar un 25% de la leche de vaca producida a nivel nacional, tanto a nivel masivo como a nivel artesanal (Adame-Gómez y col., 2020).

El lactosuero es el principal subproducto generado a partir de su elaboración y se define como “el líquido obtenido de la coagulación de la caseína de la leche, mediante la acción de enzimas coagulantes de origen animal, vegetal o microbiano, por la adición de ácidos orgánicos o minerales de grado alimentario; acidificación por intercambio iónico hasta alcanzar el punto isoeléctrico de la caseína” (NOM-243-SSA1-2010).

Además de implementar tratamientos que han aminorado su impacto ambiental, en las últimas décadas han surgido desarrollos tecnológicos importantes que buscan principalmente recuperar los componentes mayoritarios del lactosuero (proteínas, lactosa y minerales) para purificarse o procesarse como materia prima (Asunis y col., 2020). Estos tratamientos pueden ser directos (p. ej. el secado) para que el componente de interés pueda comercializarse como ingrediente. Algunos productos obtenidos de esta manera son lactosuero en polvo, concentrado de proteína de lactosuero (con o sin minerales) o lactosa en polvo. El segundo tipo de tratamiento es donde los elementos de interés presentes en el lactosuero se transforman a través de diversos mecanismos, como pueden ser los enzimáticos o fermentativos, para generar ingredientes y productos con aplicación en la industria de alimentos, farmacéutica y ganadera,

tales como, bebidas, suplementos deportivos, alimentos infantiles, entre otros. (Tsermoula y col., 2021).

El objetivo de este trabajo es hacer una revisión sobre la información más actual relativa al lactosuero, describiendo sus características y composición fisicoquímicas, haciendo énfasis en las proteínas y péptidos bioactivos derivados de las mismas por su importancia en la salud humana. De igual manera, se pretende analizar los principales usos industriales que se le dan al lactosuero y explorar algunos desarrollos tecnológicos recientes que han surgido para su aprovechamiento, poniendo hincapié en las bebidas de lactosuero que se han reportado recientemente en México y América Latina.

1. Composición fisicoquímica del lactosuero

En términos generales, se estima que un 90% de la leche empleada para la elaboración de quesos se convierte en lactosuero, y aproximadamente 55% de los sólidos totales hidrosolubles (biomoléculas y nutrimentos inorgánicos) de la leche pasan a formar parte del mismo. La proporción en la que dichos compuestos se encuentran en el lactosuero puede variar por varios factores, que incluyen la alimentación del ganado lechero y el tipo de queso elaborado (Rocha-Mendoza y col., 2021).

Según el proceso de donde se obtiene, podemos hablar de dos tipos de lactosuero; dulce y ácido. El lactosuero dulce es aquel generado a partir de la precipitación enzimática que ocurre por medio de una proteólisis. Típicamente, este proceso ocurre a una temperatura de 40-45 °C, con el pH fisiológico típico de la leche (6.5 a 6.8) y la adición de cloruro de calcio para facilitar la precipitación. De este proceso principalmente se obtienen quesos frescos, de los cuales uno de los ejemplos más representativos en México es el Panela (Paredes-Montoya y col., 2014).

Por otro lado, el lactosuero ácido es el resultado de la acidificación de la leche, que puede ser a través de ácidos orgánicos (cítrico, láctico) o resultado de acción

microbiana (principalmente bacterias ácido lácticas), donde se busca alcanzar el punto isoeléctrico de las caseínas (4.5-4.6) para causar que las mismas se agreguen, desestabilizando las micelas, y formando el precipitado final. Por ejemplo, en la elaboración de queso cottage la precipitación de las caseínas se da por efecto de ácido acético al 5% bajo condiciones específicas de temperatura (65 °C) y agitación (Malik y col., 2021).

En la Tabla 1 se muestran los componentes químicos más relevantes en los dos tipos de lactosuero:

Tabla 1. Composición de lactosuero dulce y ácido

Elemento	Lactosuero dulce^a	Lactosuero ácido^b
Sólidos totales (g/L)	63.0-70.0	63.0-70.0
Lactosa (g/L)	46.0-52.0	44.0-46.0
Proteína (g/L)	6.10-10.0	6.0-8.0
Materia grasa (g/L)	3.0-5.0	3.3-5.0
Calcio (g/L)	0.4-0.6	1.2-1.6
Fosfatos (g/L)	1.0-3.0	2.0-4.5
Lactatos (g/L)	2	6.4
Cloruros (g/L)	1.1	1.1
pH (20°C)	6.4-6.6	4.4-4.6

^a Lactosuero de queso producido por acción enzimática. ^b Lactosuero producido por fermentación con bacterias ácido lácticas.

(Tabla adaptada de Yadav y col., 2015; Mazorra-Mazano y col., 2019)

En el caso del lactosuero ácido, las bacterias ácido lácticas involucradas en el proceso ocuparon parte de las proteínas y lactosa del suero como fuente de nitrógeno y carbono respectivamente, dando así una concentración menor de

estos componentes cuando se compara con el lactosuero dulce. Asimismo, se tiene una mayor concentración de sales minerales en el lactosuero ácido dados los procesos químicos que ocurren en la matriz láctea durante su procesamiento (Rocha-Mendoza y col., 2021).

1.1 Proteínas del lactosuero

Aproximadamente un 20% de las proteínas totales de la leche se encuentran disponibles en el lactosuero, denominándose a este grupo como “proteínas del suero”. Este grupo incluye a la β -lactoglobulina (50%), α -lactoalbúmina (12%), inmunoglobulinas (10%) y la albúmina de suero bovino (5%). Otras proteínas del suero importantes son el glicomacropéptido (sólo presente en lactosuero dulce), la lactoferrina, proteasa-peptona, osteopontina y lactoperoxidasa (Tsermoula y col., 2021).

Este grupo de proteínas ha sido de amplio interés por el importante papel que han jugado en la industria farmacéutica, cosmética, y en el desarrollo de alimentos nutracéuticos (aquellos que proporcionan un beneficio a la salud adicional e independiente de su aporte nutrimental). Algunas de las funciones biológicas más relevantes que han sido caracterizadas en las proteínas del lactosuero se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2. Funciones biológicas de las proteínas del lactosuero

Proteína	Concentración en lactosuero (g/L)	Funciones biológicas
β -Lactoglobulina (β -Lg)	3.5	Transporte de vitaminas liposolubles (A y D), colesterol, retinol, fosfolípidos y compuestos aromáticos. Estimulación de actividad en lipasas.

		Fuente de péptidos bioactivos.
α -Lactoalbúmina (α -La)	1.2	Regulación de síntesis de lactosa. Actividad antitumoral. Actividad antiviral. Actividad inmunomoduladora.
Inmunoglobulinas (Ig)	0.7	Incluyen principalmente las formas Ig1, Ig2, IgA e IgM. Actividad contra rotavirus. Actividad antibacteriana. Neutralización de toxinas.
Glicomacropéptido (GMP)	1.2	Actividad prebiótica. Actividad antibacteriana. Prevención de la dermatitis atópica.
Albúmina de suero bovino (BSA)	0.4	Capacidad de enlace a varios compuestos, como ácidos grasos e iones metálicos
Lactoferrina (Lf)	0.02-0.35	Capacidad antimicrobiana Regulación del metabolismo del hierro. Modulación en procesos de inflamación. Capacidad antioxidante. Contribución al desarrollo de la actividad neuronal. Capacidad anti tumoral

Osteopontina	0.018	Participa en angiogénesis, apoptosis, procesos de inflamación, cicatrización, inmunomodulación y mineralización ósea.
Proteosa-peptona	0.63	Inhibición de lipólisis.
Lactoperoxidasa	0.01-0.03	Enzima con efecto bactericida en conjunto con peróxido de hidrógeno

(Tabla elaborada con información de Yadav y col., 2015; Ramos y col., 2016; Jauregui-Rincón y col., 2018; Deeth y Bansal, 2019; Pires y col., 2021; Rocha-Mendoza y col., 2021)

Por su abundancia en el lactosuero, la β -lactoglobulina marca las características nutricionales y tecnológicas de varios productos derivados del mismo. Esta proteína es globular, hidrosoluble y tiene una estructura, que le permite transportar moléculas hidrófobas, como las vitaminas liposolubles, y participar en la absorción de las mismas. Es una buena fuente de aminoácidos esenciales, particularmente la leucina, que juega un papel importante en la prevención de sarcopenia (Broersen, 2020).

La α -lactoalbúmina es una metaloproteína que tiene ligados dos iones Ca^{2+} en cada molécula, por lo que funciona como transportadora de calcio (Layman y col., 2018). Esta proteína se considera un ingrediente fundamental en fórmulas para lactantes dada su alta concentración en la leche humana (2.44 g/L), además de una excelente calidad nutricional, teniendo concentraciones considerables de lisina, cisteína y triptófano, este último de especial interés por su papel en la síntesis de serotonina (Barone y col., 2020). Otro aspecto importante de las funciones biológicas de esta proteína es su interacción con el ácido oleico para formar los complejos llamados por sus siglas en inglés HAMLET (α -La humana letal para las células tumorales) y BAMLET (α -La bovina letal para las células tumorales) los cuales han mostrado actividad apoptótica contra células cancerígenas (Rao y col., 2019).

Las inmunoglobulinas son proteínas globulares glicosiladas cuya principal función es contribuir al sistema inmunológico de las crías mamíferas, por lo que se han estudiado ampliamente sus mecanismos de acción antimicrobiana e inmunomoduladora (Tsermoula y col., 2021)

La albúmina de suero bovino ha sido estudiada por sus propiedades antimutagénicas, anticarcinogénicas, y por participar en la modulación del sistema inmune a través de ejercer inmunidad pasiva (Minj y Anand, 2020).

El glicomacropéptido es un derivado de la κ -caseína que resulta de la hidrólisis enzimática de la misma (de ahí que no se encuentre presente en lactosuero ácido) y tiene como principal atractivo la ausencia de residuos de fenilalanina, lo que la hace útil como ingrediente en formulaciones para personas con fenilcetonuria (Daly y col., 2020). Por otro lado, este compuesto suele emplearse como indicador de la adulteración de leche con lactosuero dulce (Jauregui-Rincón y col., 2018).

La lactoferrina es una glicoproteína ligada al Fe^{2+} que contribuye a la biodisponibilidad del hierro en el organismo, además de mostrar actividad antimicrobiana, antioxidante y funcionar como adyuvante en el tratamiento de algunos tipos de cáncer (Cutone y col., 2020)

La lactoperoxidasa es una enzima que destaca por su acción antimicrobiana, por lo que se ha estudiado su uso como conservador para algunos productos alimenticios (Al-Baarri y col., 2019)

Las proteosa-peptonas son una mezcla de proteínas y péptidos que pueden provenir de la proteólisis de las caseínas o estar presentes en la leche desde su síntesis. De estas últimas, la fracción más abundante, y por lo mismo más estudiada, es la llamada PP3. Se ha estudiado el efecto que tiene en hibridomas humanos para aumentar su producción de anticuerpos monoclonales, así como el efecto antibacteriano, tanto en bacterias Gram negativas como en Gram positivas, observado en un derivado con 23 aminoácidos de longitud (Kassem, 2015).

Además de lo mencionado, las proteínas del suero se han estudiado como auxiliar en distintas estrategias terapéuticas, por ejemplo en la alimentación durante el embarazo para promover el crecimiento fetal (Clark, 2016), en la alimentación infantil como auxiliar en poblaciones que sufren de alimentación deficiente o donde persisten cuadros de desnutrición (Stobaugh y col., 2016), en regímenes alimentarios hipocalóricos para contribuir a la disminución de grasa corporal e incremento en masa muscular (Zhao y col., 2021), como suplemento para disminuir los triglicéridos en sangre (Zhang y col., 2016), y en la prevención de enfermedades asociadas a la atrofia muscular en personas de la tercera edad (Mitchell y col., 2015). La gran mayoría de estos desarrollos continua en estudios clínicos, aunque algunos productos comerciales han comenzado a aparecer en el mercado derivados de dichos estudios (Deeth y Bansal, 2019).

1.1.1 Péptidos bioactivos derivados del lactosuero

Los péptidos bioactivos son cadenas de aminoácidos derivadas de las proteínas, que al ser separadas de la molécula principal tienen funciones benéficas para la salud, actuando principalmente en el sistema cardiovascular, nervioso, gastrointestinal, endocrino e inmune, independiente de su papel nutricional en su consumo (Chai y col., 2020). Son de longitud corta (generalmente contienen entre 2 y 20 aminoácidos) y se obtienen mediante proteólisis de la proteína principal, que puede efectuarse por enzimas exógenas (que pueden ser específicas o generales) o por acción de microorganismos proteolíticos presentes en procesos fermentativos específicos (por ejemplo, las bacterias ácido lácticas). En ambos casos se diseñan condiciones específicas de pH, temperatura, sustrato, entre otras, para garantizar la máxima eficacia del proceso (Gouda y col., 2021).

Además de ordenarlos por la proteína de la que se obtienen, una forma de clasificar a los péptidos bioactivos es considerando el efecto fisiológico de los mismos en el cuerpo humano, lo que permite dividirlos en las siguientes categorías: antihipertensivos, antioxidantes, antidiabéticos, antimicrobianos,

antitrombóticos, acarreadores de minerales, anticancerígenos e inmunomoduladores (Chacón-Gurrola y col., 2017).

Algunos de los péptidos bioactivos que se han obtenido a partir de las proteínas presentes en el lactosuero se presentan en la Tabla 3, enfatizando las secuencias de aminoácidos que integran los fragmentos proteicos donde se ha reportado actividad:

Tabla 3. Péptidos bioactivos de lactosuero

Función	Fragmento
Antihipertensiva	β -Lg f (71-75)
	β -Lg f (78-83)
	β -Lg f (142-148)
	α -La f (99-108)
	α -La f (50-52)
Antioxidante	β -Lg f (92-100)
	β -Lg f (84-91)
	β -Lg f (75-82)
	β -Lg f (145-149)
	α -La f (101-104)
	α -La f (115-118)
	α -La f (99-108)
Antidiabética	β -Lg f (46-54)
	β -Lg f (46-57)
	β -Lg f (78-86)
	α -La f (110-117)
	α -La f (4-11)
	β -Lg f (84-91)
	β -Lg f (125-135)
	β -Lg f (15-20)

Antimicrobiana	α -La f (1-5)
	α -La f (17-31) S-S (109-114)
	α -La f (61-68) S-S (75-80)
	Lf (17-41)
	Lf (12-48)
	Lf (268-284)
Acarreadora de minerales	β -Lg f (125-131)
	β -Lg f (94-100)
	β -Lg f (43-56)
	α -La f (61-68)
	α -La f (82-89)

(Tabla elaborada con información de Demers-Mathieu y col., 2013; Lacroix y Li-Chan, 2014; 75. Oseguera-Toledo y col., 2014; Power y col., 2014; Brandelli y col., 2015; Mann y col., 2015; Nongonierma y FitzGerald, 2015; Zhao y Ashaolu, 2020)

Los péptidos antihipertensivos son aquellos que disminuyen la presión sanguínea mediante distintos mecanismos de acción como pueden ser: inhibir la acción de la enzima convertidora de angiotensina (un vasoconstrictor), interferir en la degradación de la bradicinina (un vasodilatador), y estimulando la producción de óxido nítrico (un vasodilatador) en el endotelio de los vasos sanguíneos (Daliri y col., 2018).

La acción antioxidante de los péptidos se basa en disminuir el estrés oxidativo presente en el cuerpo humano mediante diversos mecanismos como pueden ser la quelación de iones metálicos y metales de transición, la captura de radicales libres, la supresión enzimática de oxidantes específicos, por mencionar algunos (Ahmed y col., 2015).

Los péptidos antidiabéticos funcionan mediante diversos mecanismos, como son la inhibición de α -glucosidasa y α -amilasa, lo cual permite alargar el tiempo de hidrólisis de carbohidratos complejos antes de su absorción, la estimulación de la producción de insulina, lo cual previene la hiperglucemia y la inhibición de la

dipeptidil peptidasa-4 (DPP-IV), enzima involucrada en la inactivación de las hormonas incretinas, que participan en la secreción de insulina (Zhao y col., 2021).

Los péptidos con actividad antimicrobiana actúan principalmente en la membrana celular de las bacterias, alterando su permeabilidad por la interacción entre aminoácidos y moléculas de ésta, lo que provoca una ruptura de la misma y la posterior lisis del microorganismo (Brandelli y col., 2015).

Los péptidos antitrombóticos contribuyen a la disminución de coágulos sanguíneos (trombos), los cuales contribuyen a varias enfermedades cardiovasculares, al inhibir la agregación plaquetaria debido a la analogía de su estructura con el fragmento 400-411 de la cadena y del fibrinógeno, impidiendo la síntesis de fibrina, que es responsable de formar dichos coágulos (Guzmán-Rodríguez y col., 2019).

Los péptidos acarreadores de minerales son aquellos que aumentan la biodisponibilidad de ciertos iones metálicos al tener estructuras que permiten la quelación de los cationes y su posterior transporte en el organismo, funcionando como alternativa a los suplementos farmacéuticos. En el caso de los derivados de proteínas del suero, se han estudiado los péptidos que transportan calcio, hierro y zinc (Caetano-Silva y col., 2015).

1.2 Lípidos del lactosuero

Si bien su contenido es menor comparado con el de la leche, se han encontrado fosfolípidos presentes en el lactosuero, los cuales provienen de la membrana del glóbulo graso de la leche (MFGM por sus siglas en inglés), glóbulos grasos pequeños, lipoproteínas y algunos ácidos grasos libres. La fracción de MFGM se componen principalmente de fosfatidilcolina, esfingomielinina, fosfatidiletanolamina, fosfatidilinositol, fosfatidilserina y glucosilceramida (Ferreiro y Rodríguez-Otero, 2018). Diversos estudios han mostrado que estos compuestos juegan papeles importantes en el desarrollo y mantenimiento de la mielina, en la salud de la piel, la modulación de la microbiota

intestinal, y en la absorción y metabolismo de colesterol y lípidos (Rocha-Mendoza y col., 2021). Así mismo, la esfingomielina presente se ha estudiado como un posible auxiliar en el desarrollo cognitivo de infantes dada su interacción en las redes neuronales (Verardo y col., 2017).

1.3 Carbohidratos del lactosuero

Aproximadamente un 95% de la lactosa presente en la leche pasa al lactosuero, por lo se le ha considerado como una buena fuente de este disacárido. Sin embargo, su incorporación directa como ingrediente a otros productos alimenticios se complica dado que un 70% de la población mundial presenta intolerancia al mismo, por lo que inicialmente se limitó su uso a la industria farmacéutica como excipiente o aglutinante (Fischer y Kleinschmidt, 2015). Uno de los primeros desarrollos que se realizó para mitigar ese efecto fue transformar al lactosuero en ácido láctico mediante acción microbiana (empleando bacterias, hongos, levaduras y algas) el cual tiene aplicación en las industrias cosmética, farmacéutica y de alimentación animal, entre otras (Turner y col., 2017).

Estudios posteriores revelaron que la lactosa no sirve únicamente como fuente de energía, sino que promueve la absorción de nutrimentos inorgánicos en el intestino, especialmente Ca, Mg y P, además de participar en el uso de la vitamina C (Tsermoula y col., 2021).

Por otro lado, se observó que la lactosa, por su naturaleza química, funciona como una materia prima óptima para la síntesis de diversos productos de valor agregado con un efecto benéfico a la salud, que pueden utilizarse para la formulación de alimentos nutraceuticos, lo que incentivó diversos desarrollos tanto para la síntesis de estos compuestos como para la aplicación de los mismos en diversos productos (Gómez-Soto y Sánchez-Toro, 2019). En la Tabla 4 se indican algunos derivados de la lactosa de interés para la industria, señalando la reacción que los genera y las aplicaciones que se han reportado de los mismos.

Tabla 4. Compuestos derivados de la lactosa

Compuesto	Reacción de síntesis	Aplicaciones
Ácido lactobiónico	Oxidación	Edulcorante hipocalórico empleado como sustituto de sacarosa. Capacidad antioxidante. Capacidad quelante. Capacidad humectante.
Lactulosa	Isomerización	Auxiliar en el tratamiento de la constipación crónica y la hiperamonemia.
Lactitol	Reducción	Edulcorante hipocalórico empleado como sustituto de sacarosa. Efecto laxante.
Lactosacarosa	Enzimática (acción de β -fructofuranosidasa o levansacarasa)	Edulcorante hipocalórico empleado como sustituto de sacarosa. Efecto bifidogénico.
Galacto-oligosacáridos	Transferencia de galactosa (acción de β -galactosidasa)	Efecto prebiótico en la microbiota intestinal. Producción de ácidos grasos de cadena corta. Efecto bifidogénico. Efecto inmunomodulador.

Tagatosa	Isomerización	Edulcorante hipocalórico empleado como sustituto de sacarosa.
Ácido glucónico	Oxidación	Regulador de la acidez en alimentos. Capacidad quelante. Contribuye al perfil sensorial de productos lácteos y bebidas no alcohólicas.

(Tabla elaborada con información de Fischer y Kleinschmidt, 2015; Nath y col., 2016; Gómez-Soto y Sánchez-Toro, 2019; Sousa y col., 2019)

De los productos mencionados en la Tabla 4 los de mayor interés son los galactooligosacáridos ya que estos compuestos, clasificados como prebióticos, pueden ser metabolizados por bacterias benéficas a la salud (probióticas) contribuyendo a la modulación del microbiota intestinal benéfica, a la vez que disminuye el número de microorganismos patógenos, reduciendo así el riesgo de enfermedades metabólicas (Fischer y Kleinschmidt, 2021). Por otro lado, se ha determinado la existencia de oligosacáridos libres en el lactosuero proveniente de quesos de cabra, sin embargo, estos aún no se han caracterizado para corroborar el efecto prebiótico de los mismos (Sousa y col., 2019)

2. Aplicaciones tecnológicas de lactosuero

Entre las primeras alternativas para aprovechar el lactosuero dentro de las industrias queseras estuvo el enriquecimiento de la alimentación animal. Para este fin, el lactosuero suele incorporarse en sustitución parcial o total del agua de bebida, como ingrediente en la elaboración de dietas (sustituyendo parcialmente otras fuentes de proteína) o reemplazando hasta un 50% de la leche materna en la crianza de terneros y otras crías. Este tipo de

aprovechamiento se sigue dando en micro y pequeñas empresas, dado que no requiere de una inversión previa sustanciosa y ofrece una alternativa relativamente sencilla para disponer de este producto (Muset y Castells, 2017). De igual forma, se han incorporado algunos derivados del lactosuero a estos esquemas de alimentación animal, por ejemplo, ácido acético obtenido por fermentación de lactosuero dulce (Lustrato y col., 2013).

En las empresas grandes, el lactosuero se procesa para aprovechar sus componentes más abundantes (proteínas y lactosa) o para utilizarlo directamente como materia prima en la elaboración de quesos (denominados como “quesos de suero”), bebidas, o como sustrato/ingrediente en otras industrias (Yadav y col., 2015).

Para poder generar estos productos, generalmente se siguen dos vías de acción, ya sea por separado o combinadas. La primera implica un tratamiento fisicoquímico, donde el lactosuero es sometido a operaciones como secado, fraccionamiento por membranas, precipitación térmica o isoelectrónica, y precipitación por coagulantes o floculantes. La segunda ruta de procesamiento implica una transformación biotecnológica, con operaciones como la fermentación aeróbica, fermentación anaeróbica, la digestión anaeróbica o el uso en celdas de combustible que funcionan mediante procesos enzimáticos. El tipo de operaciones a seguir depende del producto que se desea y de la capacidad económica de inversión que cada empresa tenga disponible (Yadav y col., 2015). En la Tabla 5 se indican los principales productos comerciales derivados del lactosuero.

Tabla 5. Productos derivados de lactosuero con interés industrial

Producto	Aplicaciones
Lactosuero dulce en polvo	Productos congelados, alimentación animal, productos de confitería, cárnicos, y de panadería
Lactosuero dulce en polvo desmineralizado	Alimentos infantiles

Lactosuero dulce concentrado al 34% (WPC34)	Ingrediente en panadería, confitería, lácteos y nutrición de ganado.
Lactosuero dulce concentrado al 80%(WPC80)	Alimentos para deportistas, surimi
Hidrolizado de proteínas de lactosuero	Alimentos infantiles, alimentos para diabetes, fuente de proteínas para diversos productos
Aislado de proteína de lactosuero	Alimentos para deportistas, dietas enterales
Lactosa grado alimenticio	Productos cárnicos, panaderos, de confitería e instantáneos.
Jarabe de galacto oligosacáridos	Alimentos infantiles y alimentos geriátricos
Concentrado de minerales lácteos	Fuente de calcio para enriquecimiento de diversos productos
Permeado de lactosuero en polvo	Panadería y alimentación animal

(Tabla elaborada con información de Ramos y col., 2016; Kadam y col., 2018; Deeth y Bansal, 2019)

El lactosuero en polvo es aquel que es clarificado, pasteurizado, concentrado y secado (generalmente por aspersion) antes de ser empacado y utilizado. El lactosuero desmineralizado se obtiene utilizando resinas de intercambio iónico para disminuir el contenido de nutrientes inorgánicos hasta en un 90%, aunque para algunas industrias (como la panadera) un contenido de minerales del 50% es suficiente (Fournaise y col., 2021).

Los concentrados de lactosuero generalmente se elaboran aplicando tecnologías de ultrafiltración por membranas, las cuales permiten separar componentes según su peso molecular. Este tipo de productos generalmente es usado como suplemento para aumentar la masa muscular y como sustituto de

leche descremada en algunos productos, particularmente en la industria de panadería o confitería (Mehra y col., 2021).

Por otro lado, los aislados de proteína de lactosuero usan técnicas de separación como la microfiltración y el intercambio iónico para llegar a tener concentraciones de proteína de lactosuero hasta del 90%, y separar componentes específicos como esfingolípidos, lactoferrina, inmunoglobulinas y glicomacropéptido (Gajendragadkar y Gogate, 2016)

Los hidrolizados de proteína se generan aplicando calor, ácidos orgánicos o adicionando enzimas proteolíticas al concentrado de lactosuero. Lo anterior produce una mezcla de péptidos y aminoácidos libres. El objetivo principal de la hidrólisis es el facilitar la digestión de las proteínas del suero, además pueden ser consumidos por personas (o animales) que tengan alergia a dichas proteínas (Zhao y col., 2021).

2.1 Quesos de lactosuero

Uno de los primeros procesos desarrollados para aprovechar el lactosuero como materia prima es la elaboración de quesos de suero. La norma oficial mexicana NOM-243-SSA1-2010 los define como "productos obtenidos a partir del suero de leche entera, semidescremada, o descremada pasteurizada de vaca, cabra u oveja, el cual es coagulado por calentamiento en medio ácido para favorecer la obtención de la cuajada, la que es salada, drenada, moldeada, empacada y etiquetada y posteriormente refrigerada para su conservación".

El método más utilizado para la producción de estos quesos consiste en precipitar las proteínas del suero lácteo (principalmente la β -lactoglobulina y α -lactoalbúmina), separar los sólidos generados por filtración y mezclar el producto con sal (generalmente al 1%) antes de su moldeado y empacado. Otros aditivos que se pueden agregar son crema, leche entera, leche en polvo u ácidos orgánicos (Królczyk y col., 2016).

Entre este tipo de quesos destaca el requesón, que es el más consumido en México por la facilidad de su elaboración y su incorporación dentro del mercado nacional (Ramírez-Rivas y Chávez-Martínez, 2017). Otras variedades populares son el queso tipo Ricotta (queso italiano elaborado con lactosuero y leche descremada), el tipo Broccio (queso francés elaborado con lactosuero y leche descremada que es madurado por 21 días), y el tipo Mysost (queso noruego elaborado con lactosuero, leche de cabra y crema, que se procesa térmicamente para producir una coloración marrón), por mencionar algunos (Muset y Castells, 2017).

Se ha reportado que los quesos de suero tienen alta concentración de proteínas (7.8g/100g) y calcio (0.4g/100g), valores que se pueden incrementar cuando se adicionan de leche entera o descremada al suero antes de su procesamiento, por lo que puede considerarse como un alimento de alto valor nutrimental (Nzekoue y col., 2020).

2.2 Bebidas a base de lactosuero

Dadas sus características fisicoquímicas y nutrimentales, el lactosuero ha resultado atractivo como matriz base para el desarrollo de bebidas a partir del mismo, presentando los mayores retos en los aspectos sensoriales y la vida de anaquel del producto terminado (Skryplonek y col., 2019).

A grandes rasgos, podemos hablar de dos tipos de bebidas elaboradas a partir de lactosuero: las no fermentadas y las fermentadas. Las primeras suelen elaborarse con lactosuero pasteurizado al cual se adiciona algún saborizante (por ejemplo, pulpa de fruta) y además puede o no incluir algún agente que modifique la textura, para mejorar la sensación en boca del producto terminado. En el caso de las bebidas con fruta, resultan atractivas para su uso aquellas que, además de aportar vitaminas y nutrimentos inorgánicos, contienen antioxidantes (polifenoles o proantocianidinas, por ejemplo) que aportan un beneficio adicional a la salud (Fischer y Kleinschmidt, 2021).

Algunas bebidas desarrolladas recientemente a partir del lactosuero sin fermentar se muestran en la Tabla 6.

Tabla 6. Bebidas de lactosuero sin fermentar

Sustrato	Aditivos	País	Referencia
Lactosuero ácido	<i>colágeno hidrolizado</i>	Hidalgo, México	León-López y col., 2020
Lactosuero ácido	<i>fructanos de agave</i>	Guanajuato, México	Moreno-Figueroa y col., 2019
Lactosuero ácido	<i>pulpa de papaya + ácido cítrico + sacarosa</i>	India	Panghal y col., 2017
Lactosuero ácido	<i>saborizante artificial</i>	Brasil	Valadao y col., 2015
Lactosuero dulce	<i>pulpa de curuba</i>	Colombia	Vivas y col., 2016
Lactosuero dulce	<i>cafeína</i>	Ecuador	Hannibal y col., 2015
Lactosuero dulce	<i>pulpa de mora</i>	Colombia	Amador-Villalba y col., 2020

Lactosuer o dulce	<i>pulpa de maracuyá</i>	Colombia	García-Mogollón y col., 2015
Lactosuer o dulce	<i>pulpa de guanabana</i>	Ecuador	Muñoz-Murillo y col., 2019
Lactosuer o dulce	<i>leche entera + harina de camote</i>	Ecuador	Gavilanes-López y col., 2018
Lactosuer o dulce	<i>pulpa de copoazú</i>	Ecuador	Rodríguez-Basantes y col., 2020
Lactosuer o dulce	<i>β-galactosidasa + sacarosa</i>	Ecuador	Montesdeoca y col., 2018

El segundo tipo de bebida es aquella donde el lactosuero es fermentado por microorganismos (generalmente bacterias ácido lácticas de los géneros *Lactobacillus* y *Streptococcus* y levaduras) como parte de su procesamiento. La acidez resultante de la fermentación alarga la vida de anaquel del producto al inhibir el crecimiento de microorganismos de descomposición. Así mismo, se pueden generar compuestos que contribuyen al sabor y aroma de la bebida, aunque también suelen adicionarse aditivos para saborizar o modificar la textura final (Beltrán-Barrientos y col., 2016). Otro campo de interés en esta gama de productos es el uso de cepas de bacterias probióticas para brindar un beneficio a la salud adicional a los mismos. En esta área se ha encontrado que la adición de ciertas frutas (como la naranja) o compuestos prebióticos (como la inulina,

polidextrosa y oligofruetosa) promueven la viabilidad de los microorganismos probióticos en el producto final (Thakkar y col., 2018).

Algunas bebidas elaboradas con estas características en años recientes se indican en la Tabla 7.

Tabla 7. Bebidas de lactosuero fermentado

Sustrato	Microorganismos	Aditivos	País	Referencia
Lactosuero ácido	<i>Lactobacillus acidophilus</i>	Pulpa de açai + colágeno hidrolizado	Brasil	da-Mata-Rigoto y col., 2019
Lactosuero ácido	<i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Bifidobacterium animalis</i> spp. <i>lactis</i> , <i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>Lactobacillus paracasei</i> spp. <i>paracasei</i>	Nuez pecanera variedad western	Guanajuato, México	Hernández-Ayala y col., 2018

Lactosuer o ácido	<i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Bifidobacterium animalis subsp. lactis</i> y <i>Streptococcus thermophilus</i>	N/A	Guanajuato, México	Corona-Castro y col., 2018
Lactosuer o ácido	<i>granulos de kefir</i> , <i>Kluyveromyces marxianus</i> y <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	N/A	Jalisco, México	Ortiz-Ávila y col., 2018
Lactosuer o ácido	<i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Lactobacillus casei</i> y <i>Bifidobacterium sp.</i>	Leche entera + leche en polvo descremada	Brasil	Lievore y col., 2015
Lactosuer o ácido	<i>Lactobacillus acidophilus</i> y <i>Streptococcus thermophilus</i>	Pulpa de varias frutas	Cuba	Boumba y col., 2016

Lactosuero dulce	<i>Lactobacillus casei</i> y <i>Streptococcus thermophilus</i>	Mermelada de piña y coco	Chiapas, México	Velázquez-López y col., 2018
Lactosuero dulce	<i>Streptococcus salivarius ssp.</i> , <i>Streptococcus thermophilus</i> y <i>Lactobacillus casei ssp. casei</i>	Leche descremada en polvo	Colombia	Tirado-Armesto y col., 2015
Lactosuero dulce	<i>Lactobacillus acidophilus</i>	Saborizante artificial	Venezuela	Molero-Méndez y col., 2017
Lactosuero dulce	<i>Lactobacillus plantarum</i>	Carboximetilcelulosa + Stevia + jugo de tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>)	Egipto	Aly y col., 2019

2.3 Proteínas de lactosuero como ingrediente

Dada su elevada concentración de proteínas y las características funcionales de las mismas (Tabla 8) se ha explorado el uso de lactosuero como aditivo en diversas ramas de la industria de alimentos. De éstas, el campo de la industria láctea ha incursionado en utilizar estas proteínas como sustituto de grasa para helados de yogurt (Torres y col., 2018), como sustituto de leche en polvo para paletas (Gajo y col., 2017) y como ingrediente, junto con la leche

entera, para dulce de leche (Cohene y col., 2016). Otros ámbitos donde se ha incorporado son la panadería y la industria cárnica (Królczyk y col., 2016).

Tabla 8. Funcionalidad de proteínas en lactosuero

Proteína	Propiedades	Aplicaciones
β -lactoglobulina	Gelificante, estabilizante, emulsificante y espumante en diversos productos	Confitería, panadería, productos cárnicos
α -lactoalbúmina	Gelificante	Alimentos infantiles y productos nutracéuticos
Albúmina de suero bovino	Espumante	Confitería y productos tipo lácteos
Inmunoglobulinas	Emulsionantes	Alimentos funcionales
Lactoferrina	Actividad antimicrobiana	Alimentos infantiles y productos dermatológicos
Lactoperoxidasa	Efecto bactericida	Conservador para alimentos
Glicomacropéptido	Valor nutricional	Dietas para personas con fenilcetonuria

(Tabla elaborada con información de Królczyk y col., 2016; Kadam y col., 2018; Deeth y Bansal, 2019)

La mayoría de estas proteínas se obtienen a partir del lactosuero (previamente acidificado a un pH cercano al punto isoeléctrico de la proteína de interés), empleando técnicas de separación que tienden a incluir la ultrafiltración, precipitación y cromatografía de intercambio iónico (Kassem, 2015).

2.4 Otros productos de lactosuero

Como se mencionó anteriormente, la alta concentración de proteínas y lactosa hacen del lactosuero una matriz efectiva para obtener diversos productos mediante la fermentación. Particularmente, se han desarrollado y optimizado procesos para generar ácidos orgánicos (especialmente ácido láctico), bioalcoholes (de particular interés el etanol), compuestos aromáticos (diacetilo), biopolímeros (por ejemplo, exopolisacáridos), biogases (hidrógeno), entre otros (Remón y col., 2016). Algunos de los desarrollos recientes de lactosuero se indican en la Tabla 9.

Tabla 9. Desarrollos de lactosuero de interés industrial

Sustrato	Producto	Condiciones	Usos	Referencia
Lactosuero ácido	Iones fosfato	Uso de electrocoagulación	Uso para fertilizantes	Callejas-Hernández y col., 2012
Lactosuero ácido	Metano	Procesamiento en reactor anaerobio de lecho de lodos de flujo ascendente (UASB)	Combustible	Guerrero-Rodríguez, 2012

Lactosuero ácido	Ácido láctico	Uso de <i>Lactobacillus casei</i>	Aditivo en la industria alimentaria	Duarte-Manchego y col., 2019
Lactosuero ácido	Proteína unicelular	Uso de <i>Kluyveromyces marxianus</i>	Aditivo en la industria alimentaria	Marcatoma-Tixi y col., 2020
Lactosuero dulce	2-fenil etanol	Uso de <i>Kluyveromyces marxianus</i>	Aromatizante, anestésico local y antiséptico	Conde-Báez y col., 2017
Lactosuero dulce	Ácido cítrico	Uso de <i>Aspergillus carbonarius</i>	Aditivo en la industria alimentaria	Rosales-Mitte, 2019

Otras aplicaciones industriales del lactosuero incluyen la síntesis de ácido galactónico (Zhou y col., 2019), el desarrollo de material para la microencapsulación de microorganismos (Eckert y col., 2017), la producción de goma xantana empleando *Xanthomonas campestris* (Savvides y col., 2012), y el crecimiento de la microalga *Chlorella protothecoide* (Espinosa-González y col., 2014).

2.5 Patentes de lactosuero en México

Para que las nuevas tecnologías y productos que se han desarrollado a partir del lactosuero puedan tener un impacto significativo es necesario poderlas llevar del laboratorio a la industria, una etapa muy importante donde en ocasiones surgen retos y dificultades técnicas que no se habían podido apreciar en un primer momento (Tsermoula y col., 2021). Una parte de este escalamiento es el registro de patentes, ya que éste puede servir como primer paso para llevar el producto hacia un mercado más amplio.

Entre los desarrollos a base de lactosuero que se han patentado recientemente en México destacan un aditivo empleado en las pinturas usadas en el rubro de la construcción (Girón-Franco, 2018), un producto dietético compuesto por un concentrado o aislado de lactosuero, caseinato de calcio y un hidrolizado de lactosuero para disminuir la grasa visceral en personas que se encuentran en la fase preoperatoria de intervención quirúrgica (Vincent, 2017a) o para prevenir el riesgo cardiometabólico (Vincent, 2017b), un aromatizante (2-fenil etanol) derivado de la fermentación de lactosuero realizada por *Kluyveromyces marxianus* (Castro-Rosas y col., 2021), el L-lactato generado por la fermentación de lactosuero con *Lactococcus lactis* subespecie *lactis*, además de hidrolizados parciales de proteína (y fórmulas para infante que contienen los mismos) desarrollados a partir de soluciones (compuestas por proteína de lactosuero, caseína y agua) tratadas con proteasas para obtener un grado de hidrólisis entre 4% y 10% (Álvarez y col., 2016).

Conclusiones y Perspectivas

El lactosuero, inicialmente considerado un mero subproducto de la industria quesera, ha encontrado nuevos usos dentro de la industria como materia prima en las últimas décadas de manera considerable al reconocerse el potencial para explotar sus propiedades nutricionales, funcionales y fisicoquímicas. Una de las formas en las que esto se lleva a cabo es el uso de lactosuero como ingrediente dentro de diversas industrias (panadera, confitera, la misma láctea) para mejorar las características sensoriales de sus productos, viéndolo como una alternativa de origen natural a los aditivos sintéticos, aunque todavía hay ramas que están buscando nuevas innovaciones en este ámbito, como la posibilidad de desarrollar bioempaques a partir de las proteínas del lactosuero. Por otro lado, el aprovechamiento como materia prima del lactosuero se da principalmente en el desarrollo de quesos de suero y bebidas (con y sin fermentar), productos que cada vez tienen mayor presencia en los mercados nacionales e internacionales.

También son de señalarse las diversas investigaciones en torno a la bioactividad de péptidos derivados de las proteínas del lactosuero, mismas que han servido como auxiliar al tratamiento de diversas enfermedades crónico degenerativas, aunque en este campo todavía está pendiente indagar las interacciones de estas moléculas con otras presentes en las diversas matrices alimentarias. Finalmente, el lactosuero ha sido retomado por otras industrias como una fuente de aprovechamiento, con los enfoques actuales orientados hacia la producción de biopolímeros, biogases, bioalcoholes y ácidos orgánicos, entre otros.

Referencias

1. Adame-Gómez, R., Muñoz-Barrios, S., Castro-Alarcón, N., Leyva-Vázquez, M., Toribio-Jiménez, J. & Ramírez-Peralta, A. (2020). Prevalence of the Strains of *Bacillus cereus* Group in Artisanal Mexican Cheese. *Foodborne Pathogens And Disease*. 17: 8-14. DOI: 10.1089/fpd.2019.2673.
2. Ahmed, A.S., El-Bassiony, T., Elmalt, L.M. & Ibrahim, H.R. (2015). Identification of potent antioxidant bioactive peptides from goat milk proteins. *Food Research International*. 74: 80-88. DOI: 10.1016/j.foodres.2015.04.032.
3. Al-Baarri, A., Damayanti, N., Legowo, A., Tekiner, İ. & Hayakawa, S. (2019). Enhanced Antibacterial Activity of Lactoperoxidase–Thiocyanate–Hydrogen Peroxide System in Reduced-Lactose Milk Whey. *International Journal Of Food Science*. 2019: 1-6. DOI: 10.1155/2019/8013402.
4. Álvarez, M.M., Rodríguez-Sánchez, A.C., Muñoz-Santana, S., Martínez-Valdez, L.H., Pinto-Piña, H & Ramírez-Medrano, A. (2016) Proceso para la producción de L-lactato mediante fermentación de lactosuero con *Lactococcus lactis* subespecie *lactis* (México, No. de patente MX 341691 B). Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.
5. Aly, E., Darwish, A., y Tawfek, M. (2019). Quality characteristics of sweet whey-based fruits beverages fermented with *Lactobacillus plantarum*.

- Egyptian Journal Of Food Science*. 47: 241-254. DOI:
10.21608/ejfs.2019.17601.1024.
6. Amador-Villalba, J. M., Andreus-González, A. A., Arredondo-Mejía, C. A., Rendón-Ceballos, C. A., Barrera-Bello, E. & Jiménez-Argumedo, C. (2020). Estandarización de una bebida deslactosada a base de suero dulce de leche saborizado con pulpa de mora. *Encuentro Sennova Del Oriente Antioqueño*. 5: 33–44.
DOI: 10.23850/26652447/5/1/2768.
7. Asunis, F., De-Gioannis, G., Dessì, P., Isipato, M., Lens, P. & Muntoni, A. (2020). The dairy biorefinery: Integrating treatment processes for cheese whey valorisation. *Journal Of Environmental Management*. 276: 111240.
DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.111240.
8. Barone, G., Moloney, C., O'Regan, J., Kelly, A. & O'Mahony, J. (2020). Chemical composition, protein profile and physicochemical properties of whey protein concentrate ingredients enriched in α -lactalbumin. *Journal of Food Composition and Analysis*, 92: 103546. DOI: 10.1016/j.jfca.2020.103546.
9. Beltrán-Barrientos, L. M., Hernández-Mendoza, A., Torres-Llanaez, M. J., González-Córdova, A. F. & Vallejo- Córdoba, B. (2016). Fermented milk as antihypertensive functional food. *Journal of Dairy Science*. 99: 4099-4110. DOI: 10.3168/jds.2015-10054.
10. Boumba, A., Nuñez-de-Villavicencio, M., Castro, Y., Mijares, K. & Hernández, O. (2016). Desarrollo De Bebida Fermentada a Partir De Suero Requesón. *Ciencia y Tecnología de los Alimentos*, 26: 39-44.
11. Brandelli, A., Daroit, D. J. & Corrêa, A. P. F. (2015). Whey as a source of peptides with remarkable biological activities. *Food Research International*. 73:149161. DOI: 10.1016/j.foodres.2015.01.016.
12. Broersen, K. (2020) Milk processing affects structure, bioavailability and immunogenicity of β -lactoglobulin. *Foods*. 9: 874. DOI: 10.3390/foods9070874.

13. Caetano-Silva, M. E., Bertoldo-Pacheco, M. T., Paes-Leme, A. F. & Netto, F. M. (2015). Iron-binding peptides from whey protein hydrolysates: Evaluation, isolation and sequencing by LC-MS/MS. *Food Research International*, 71, 132-139. DOI: 10.1016/j.foodres.2015.01.008.
14. Callejas-Hernández, J., Prieto-García, F., Reyes-Cruz, V., Marmolejo-Santillán, Y. & Méndez-Marzo, M. (2012). Caracterización fisicoquímica de un lactosuero: potencialidad de recuperación de fósforo. *Revista Acta Universitaria*, 22: 11-18. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41623193002>. Fecha de consulta: 25 de agosto de 2021.
15. Castro-Rosas, J., Gómez-Aldapa, C.A. & Conde-Baes, L. (2021) Procedimiento para obtener 2-fenil etanol a partir del lactosuero crudo (México, No. de patente MX/a/2015/016861). Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.
16. Chacón-Gurrola, L.R., Chávez-Martínez, A., Rentería-Monterrubio, A.L. & Rodríguez- Figueroa, J.C. (2017). Proteínas del lactosuero: Usos, relación con la salud y bioactividades. *Interciencia*, 42: 712-718. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33953499002>. Fecha de consulta: 9 de septiembre de 2021.
17. Chai, K., Voo, A., & Chen, W. (2020). Bioactive peptides from food fermentation: A comprehensive review of their sources, bioactivities, applications, and future development. *Comprehensive Reviews In Food Science And Food Safety*, 19: 3825-3885. DOI: 10.1111/1541-4337.12651
18. Clark, D. (2016). Dairy and growth, latest findings and lessons learned. *Food & Nutrition Bulletin*, 37: 1-7 DOI: 10.1177/0379572116629242.
19. Cohene, M., Sandoval, A., Dinatale, F. & Sarubbi, A. (2016). Estudio comparativo de la composición fisicoquímica y organoléptica del dulce de leche de elaboración artesanal utilizando leche y suero de leche de quesería en una proporción de 70/30, con y sin hidrolizado de la mezcla.

- Compendio de Ciencias Veterinarias*, 6: 17-23. DOI:
10.18004/compend.cienc.vet.2016.06.01.17-23
20. Conde-Báez, L., Castro-Rosas, J., Villagómez-Ibarra, J. R., Páez-Lerma, J. B. & Gómez-Aldapa, C. (2017). Evaluación de desechos de la industria quesera para la producción de 2-fenil etanol. *Revista Acta Universitaria*, 27: 57-64. Disponible en:
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41652062006>. Fecha de consulta: 22 de agosto de 2021.
21. Corona-Castro, M.L., Sosa-Morales, M.E., Cerón-García, A., Gómez-Salazar, J.A. & Rodríguez-Hernández, G. (2018). Formulación de una bebida a base de suero lácteo fermentada con probióticos. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3: 441-445. Disponible en
<https://revistas.uncp.edu.pe/index.php/jafs/article/view/547/751>. Fecha de consulta: 17 de agosto de 2021.
22. Cutone, A., Rosa, L., Ianiro, G., Lepanto, M., Bonaccorsi di Patti, M., Valenti, P. & Musci, G. (2020). Lactoferrin's Anti-Cancer Properties: Safety, Selectivity, and Wide Range of Action. *Biomolecules*, 10: 456. DOI: 10.3390/biom10030456.
23. da-Mata-Rigoto, J., Santos-Ribeiro, T., Stevanato, N., Sampaio, A., Ruiz, S. & Bolanho, B. (2019). Effect of açai pulp, cheese whey, and hydrolysate collagen on the characteristics of dairy beverages containing probiotic bacteria. *Journal Of Food Process Engineering*, 42: 12953. DOI: 10.1111/jfpe.12953.
24. Daliri, E., Lee, B., Park, B., Kim, S. & Oh, D. (2018). Antihypertensive peptides from whey proteins fermented by lactic acid bacteria. *Food Science And Biotechnology*, 27: 1781-1789. DOI: 10.1007/s10068-018-0423-0.
25. Daly, A., Evans, S., Pinto, A., Jackson, R., Ashmore, C., Rocha, J. & MacDonald, A. (2020). The Impact of the Use of Glycomacropeptide on

- Satiety and Dietary Intake in Phenylketonuria. *Nutrients*, 12: 2704. DOI: 10.3390/nu12092704
26. Deeth, H. C. & Bansal, N. (2019) Whey Proteins: An Overview In Deeth, H. C. y Bansal, N. (Ed.), *Whey Proteins: From Milk to Medicine* (pp. 1-50) Australia: Academic Press.
27. Demers-Mathieu, V., Gauthier, S. F., Britten, M., Fliss, I., Robitaille, G. & Jean, J. (2013). Antibacterial activity of peptides extracted from tryptic hydrolyzate of whey protein by nanofiltration. *International Dairy Journal*, 28: 94-101. DOI: 10.1016/j.idairyj.2012.09.003.
28. Duarte-Manchego, P. A., González-Téllez, J. C. & Muvdi-Nova, C. J. (2019). Evaluación de las proteínas hidrolizadas del lactosuero como fuente de nitrógeno en la fermentación láctica de la lactosa. *Revista ION*, 32:15-27. DOI: 10.18273/revion.v32n2-2019002.
29. Eckert, C., Serpa, V., Felipe-dos-Santos, A., Marinês-da-Costa, S., Dalpubel, V., Lehn, D. & Volken-de-Souza, C. (2017). Microencapsulation of *Lactobacillus plantarum* ATCC 8014 through spray drying and using dairy whey as wall materials. *LWT - Food Science And Technology*, 82: 176-183. DOI: 10.1016/j.lwt.2017.04.045.
30. Espinosa-González, I., Parashar, A. & Bressler, D. (2014). Heterotrophic growth and lipid accumulation of *Chlorella protothecoides* in whey permeate, a dairy by-product stream, for biofuel production. *Bioresource Technology*, 155, 170-176. DOI: 10.1016/j.biortech.2013.12.028.
31. Ferreiro, T. & Rodríguez-Otero, J. (2018). Evolution and distribution of phospholipids in cheese and whey during the manufacturing of fresh cheese from cows' milk. *International Journal of Dairy Technology*, 71: 820-823. DOI: 10.1111/1471-0307.12499.
32. Fischer, C. & Kleinschmidt, T. (2015). Synthesis of galactooligosaccharides using sweet and acid whey as a substrate. *International Dairy Journal*. 48:15-22. DOI: 10.1016/j.idairyj.2015.01.003.

33. Fischer, C. & Kleinschmidt, T. (2021). Valorisation of sweet whey by fermentation with mixed yoghurt starter cultures with focus on galactooligosaccharide synthesis. *International Dairy Journal*. 119: 1568. DOI: 10.1016/J.IDAIRYJ.2021.105068.
34. Fournaise, T., Burgain, J., Perroud-Thomassin, C. & Petit, J. (2021). Impact of the whey protein/casein ratio on the reconstitution and flow properties of spray-dried dairy protein powders. *Powder Technology*. 391: 275-281. DOI: 10.1016/j.powtec.2021.06.026.
35. Gajendragadkar, C., & Gogate, P. (2016). Intensified recovery of valuable products from whey by use of ultrasound in processing steps – A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 32: 102-118. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2016.02.023
36. Gajo, A. A., de-Resende, J.V., Costa, F.F., Pereira, C.G., de-Lima, R.R., Antonialli, F. & de-Abreu, L. R. (2017). Effect of hydrocolloids blends on frozen dessert “popsicles” made with whey concentrated. *LWT*, 75, 473-480. DOI: 10.1016/j.lwt.2016.09.027
37. García-Mogollón, C., Alvis-Bermudez, A. & Romero, P. (2015). Aplicación del Mapa de Preferencia Externo en la Formulación de una Bebida Saborizada de Lactosuero y Pulpa de Maracuyá. *Información tecnológica*, 26: 17-24. DOI: 10.1016/j.lwt.2016.09.027.
38. Gavilanes-López, P.I., Zambrano-Zambrano, A.M., Romero-Rosado, C.F. & Moro-Peña, A. (2018). Evaluación de una bebida láctea fermentada novel a base de lactosuero y harina de camote. *La Técnica: Revista de las Agrociencias*, 19: 47-60. DOI: 10.33936/la_tecnica.v0i19.734
39. Girón-Franco, M.T. (2018). Aditivo de usos múltiples en la industria de la construcción (México, MX/a/2010/001428). Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.

40. Gómez-Soto, J.A. & Sánchez-Toro, O.J. (2019). Producción de galactooligosacáridos: alternativa para el aprovechamiento del lactosuero. Una revisión. *Ingeniería y Desarrollo*. 37: 129-157. DOI: 10.14482/inde.37.1.637.
41. Gouda, A.S., Adbelruhman, F. G., Alenezi, H. S. & Mégarbane, B. (2021). Theoretical benefits of yogurt-derived bioactive peptides and probiotics in COVID-19 patients – A narrative review and hypotheses. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 28: 5897-5905. DOI: 10.1016/j.sjbs.2021.06.046.
42. Guerrero-Rodríguez, W. J., Castilla-Hernández, P., Cárdenas-Medina, K. N., Gómez-Aldapa, C. A. & Castro-Rosas, J. (2012). Degradación anaerobia de dos tipos de lactosuero en reactores UASB. *Tecnología Química*. 32: 115-125. Disponible en https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icbi/LI_MicroAlim/Javier_Castro/Degradacion_anaerobica_de_lactosuero.pdf. Fecha de consulta: 22 de agosto del 2021.
43. Guzmán-Rodríguez, F., Gómez-Ruiz, L., Rodríguez-Serrano, G., Alatorre-Santamaría, S., García-Garibay, M., & Cruz-Guerrero, A. (2019). Iron binding and antithrombotic peptides released during the fermentation of milk by *Lactobacillus casei shirota*. *Revista Mexicana De Ingeniería Química*. 18: 1161-1165. DOI: 10.24275/uam/izt/dcbi/revmexingquim/2019v18n3/Guzman.
44. Hannibal, B., Antonio, S., Mercy, A., Evelyn, R., Paola, V. & Adriana, R. (2015). Aprovechamiento del suero de leche como bebida energizante para minimizar el impacto ambiental. *European Scientific Journal*. 11:1857-7881. Disponible en <https://eujournal.org/index.php/esj/article/view/6245>. Fecha de consulta: 17 de agosto del 2021.
45. Hernández-Ayala, M., Cerón-García, A., Gómez-Salazar, J.A. & Rodríguez-Hernández, G. (2018). Bebida fermentada con probióticos y adicionada con nuez pecanera variedad Western. *Investigación y*

- Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3, 365-370. Disponible en <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume3/4/5/60.pdf>. Fecha de consulta: 30 de agosto del 2021.
46. Jauregui-Rincón, J., Salinas-Miralles, E., Chávez-Vela, N. & Jiménez-Vargas, M. (2018). Glycomacropptide: Biological Activities and Uses. In Gigli, I. (Ed.), *Whey Biological Properties and Alternative Uses*. [En línea]. Disponible en: <https://www.intechopen.com/chapters/64486>. Fecha de consulta: 17 de septiembre de 2021.
47. Kadam, B., Ambadkar, R., Rathod, K. & Landge, S. (2018). Health Benefits of Whey: A Brief Review. *International Journal Of Livestock Research*. 8: 31-49. DOI:10.5455/ijlr.20170411022323.
48. Kassem, J. (2015). Future Challenges of Whey Proteins. *International Journal Of Dairy Science*. 10: 139-159. DOI: 10.3923/ijds.2015.139.159.
49. Królczyk, J. B., Dawidziuk, T., Janiszewska-Turak, E. & Sołowiej, B. (2016). Use of whey and whey preparations in the food industry: A review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 66: 157-165. DOI: <https://doi.org/10.1515/pjfn-2015-0052>.
50. Lacroix, I. M. E., & Li-Chan, E. C. Y. (2014). Overview of food products and dietary constituents with antidiabetic properties and their putative mechanisms of action: A natural approach to complement pharmacotherapy in the management of diabetes. *Molecular Nutrition & Food Research*. 58:61-78. DOI: 10.1002/mnfr.201300223.
51. Layman, D., Lönnerdal, B., & Fernstrom, J. (2018). Applications for α -lactalbumin in human nutrition. *Nutrition Reviews*. 76: 444-460. DOI: 10.1093/nutrit/nuy004
52. León-López, A., Pérez-Marroquín, X. A., Campos-Lozada, G., Campos-Montiel, R. G. & Aguirre-Álvarez, G. (2020). Characterization of Whey-Based Fermented Beverages Supplemented with Hydrolyzed Collagen: Antioxidant Activity and Bioavailability. *Foods (Basel, Switzerland)*. 9: 1106. DOI: 10.3390/foods9081106.

53. Lievore, P., Simões, D. R., Silva, K. M., Drunkler, N. L., Barana, A. C., Nogueira, A. & Demiate, I. M. (2015). Chemical characterisation and application of acid whey in fermented milk. *Journal of food science and technology*. 52: 2083–2092.
DOI: 10.1007/s13197-013-1244-z.
54. Lustrato, G., Salimei, E., Alfano, G., Belli, C., Fantuz, F., Grazia, L. & Ranalli, G. (2013). Cheese whey recycling in traditional dairy food chain: effects of vinegar from whey in dairy cow nutrition. *Acetic Acid Bacteria*. 2. 47-53. DOI:10.4081/aab.2013.s1.e8.
55. Malik, S., De, I., Singh, M., Galanakis, C., Alamri, A. & Kant Yadav, J. (2021). Isolation and Characterisation of Milk-derived Amyloid-like Protein Aggregates (MAPA) from Cottage Cheese. *Food Chemistry*, 131486. DOI: 10.1016/j.foodchem.2021.131486.
56. Mann, B., Kumari, A., Kumar, R., Sharma, R., Prajapati, K., Mahboob, S. & Athira, S. (2015). Antioxidant activity of whey protein hydrolysates in milk beverage system. *Journal of Food Science & Technology*, 52, 3235-3241. DOI: 10.1007/s13197-014-1361-3.
57. Marcatoma-Tixi, J. A., Rodas-Espinoza, S. L., Mármol-Cuadrado, L. H. & Galán-Robalino, P. A. (2020). Análisis estadístico en la producción de proteína unicelular a partir de la fermentación del suero ácido de quesería. *Revista ConcienciaDigital*. 3: 34-45. DOI: 10.33262/concienciadigital.v3i4.1.1468.
58. Mazorra-Manzano, M., Ramírez-Montejo, H., Lugo-Sánchez, M., González-Córdova, A. F. & Vallejo-Cordoba, B. (2019). Caracterización del lactosuero y requesón proveniente del proceso de elaboración de queso cocido (asadero) región Sonora. *Nova Scientia. Revista de Investigación de la Universidad De La Salle Bajío*. 11: 220-233. DOI: 10.21640/ns.v11i23.2072.
59. Mehra, R., Kumar, H., Kumar, N., Ranvir, S., Jana, A., Buttar, H., Telessy, I., Awuchi, C., Okpala, C., Korzeniowska, M. & Guiné, R. (2021). Whey proteins processing and emergent derivatives: An insight

- perspective from constituents, bioactivities, functionalities to therapeutic applications. *Journal of Functional Foods*, 87, 104760. DOI: 10.1016/j.jff.2021.104760.
60. Minj S. & Anand S. (2020). Whey Proteins and Its Derivatives: Bioactivity, Functionality, and Current Applications. *Dairy*. 1:233-258. DOI:10.3390/dairy1030016
61. Mitchell, C. J., Della-Gatta, P. A., Petersen, A. C., Cameron-Smith, D. & Markworth, J. F. (2015). Soy protein ingestion results in less prolonged p70S6 kinase phosphorylation compared to whey protein after resistance exercise in older men. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 12, Article 6. DOI: 10.1186/s12970-015-0070-2.
62. Molero-Méndez, M. S., Flores-Rondón, C., Leal-Ramírez, M. & Briñez-Zambrano, W.J. (2017). Evaluación sensorial de bebidas probióticas fermentadas a base de lactosuero. *Revista Científica de la Universidad del Zulia*. 27: 70-77. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/959/95951040002/html/>. Fecha de consulta: 22 de agosto del 2021.
63. Montesdeoca P., R., Intriago C, R., Vera V. P. & Benítez C. I. (2018). Efecto de la adición de lactasa y sacarosa en una bebida isotónica utilizando lactosuero. *Revista chilena de nutrición*. 45: 316-322. DOI: 10.4067/S0717-75182018000500316
64. Moreno-Figueroa, V.E., Rodríguez-Hernández, G., Franco-Robles, E. & Cerón-García, A. (2019). Evaluación de parámetros sensoriales y fisicoquímicos de leche y suero dulce adicionados con fructanos de agave. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 4, 542-545. Disponible en <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume4/4/5/75.pdf>. Fecha de consulta: 27 de agosto del 2021.
65. Muñoz-Murillo, J., Cabrera-Carranza, C. & Burgos-Vélez, M. (2019). Bebida láctea fermentada de guanábana (*Annona muricata* L.) utilizando lactosuero y su incidencia en las propiedades sensoriales y

- bromatológicas. *Revista CienciaMatria*. 5: 696-714. DOI:
10.35381/cm.v5i9.290.
66. Muset, G. & Castells, M. L. (2017). *Valorización del lactosuero*. Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Argentina.
67. Nath, A., Verasztó, B., Basak, S., Koris, A., Kovacs, A., & Vatai, G. (2016). Synthesis of lactose-derived nutraceuticals from dairy waste whey—A review. *Food and Bioprocess Technology*. 9:16 - 48. DOI: 10.1007/s11947-015-1572-2.
68. Nongonierma, A. & FitzGerald, R. (2015). The scientific evidence for the role of milk protein-derived bioactive peptides in humans: A Review. *Journal Of Functional Foods*, 17: 640-656. DOI: 10.1016/j.jff.2015.06.021.
69. Norma Oficial Mexicana NOM-243-SSA1-2010, Productos y servicios. Leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado y derivados lácteos. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba.
70. Nzekoue, F., Alesi, A., Vittori, S., Sagratini, G. & Caprioli, G. (2020). Development of functional whey cheese enriched in vitamin D3: nutritional composition, fortification, analysis, and stability study during cheese processing and storage. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 72. 746-756.
DOI: 10.1080/09637486.2020.1857711
71. Ortiz-Ávila, W. F., Madrigal-Ambriz, L. V., Salazar-Aguilar, B. G. & Cárdenas-Magaña, J. A. (2018). Aprovechamiento del lactosuero residual de empresas productoras de queso en la región norte de Colima y sur de Jalisco para la elaboración de una bebida fermentada de bajo grado alcohólico. *Revista Ra Ximhai*. 14: 39 –50.
DOI:10.35197/rx.14.03.2018.03.wo.
72. Oseguera-Toledo, M., González de Mejía, E., Reynoso-Camacho, R., Cardador-Martínez, A. & Amaya-Llano, S. (2014). Proteins and bioactive peptides. Mechanisms of action on diabetes management. *Nutrafoods*, 13:147-157.

- DOI: 10.1007/s13749-014-0052-z.
73. Panghal, A., Kumar, V., Dhull, S. B., Gat, Y. & Chhikara, N. (2017). Utilization of Dairy Industry Waste-Whey in Formulation of Papaya RTS Beverage. *Current research in Nutrition and Food Science*, 5:168-174. DOI: 10.12944/CRNFSJ.5.2.14.
74. Paredes-Montoya, P., Chávez-Martínez, A., Rodríguez-Figueroa, J.C., Aguilar-Palma, N., Rentería-Monterrubio, A.L. & Rodríguez-Hernández, G. (2014). Características fisicoquímicas y microbiológicas de suero de leche de queso Chihuahua. *Investigación y Ciencia*, 22, 11-16. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/674/67432507002.pdf>. Fecha de consulta: 22 de agosto del 2021.
75. Pires, A.F., Marnotes, N.G., Rubio, O.D., Garcia, A.C., & Pereira, C.D. (2021). Dairy By-Products: A Review on the Valorization of Whey and Second Cheese Whey. *Foods*.10: 1067. DOI: 10.3390/foods10051067.
76. Power, O., Fernández, A., Norris, R., Riera, F. A., & FitzGerald, R. J. (2014). Selective enrichment of bioactive properties during ultrafiltration of a tryptic digest of β -lactoglobulin. *Journal of Functional Foods*. 9: 3847. DOI: 10.1016/j.jff.2014.04.002
77. Ramírez-Rivas, I. K. & 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. Disponible en <https://www.redalyc.org/journal/339/33953770008/html/>. Fecha de consulta: 28 de agosto del 2021.
78. Ramos, O.L., Pereira, R.N., Rodrigues, R.M., Teixeira, A.A. & Malcata, V. F.X (2016). Whey and whey powders: Production and uses En Caballero, B., Finglas, P.M y Toldrá, F. (Ed.) *Encyclopedia of food and health Vol. 5* (pp. 498-505). USA: Elsevier.
79. Rao, E., Foderà, V., Leone, M. & Vetri, V. (2019). Direct observation of alpha-lactalbumin, adsorption and incorporation into lipid membrane and formation of lipid/protein hybrid structures. *BBA-General Subjects*. 1863: 784-794. DOI: 10.1016/j.bbagen.2019.02.005.

80. Remón, J., Laseca, L., García, J. & Arauzo, J. (2016). Hydrogen production from cheese whey by catalytic steam reforming: Preliminary study using lactose as a model compound. *Energy conversion and management*, 114: 122-141.
DOI: 10.1016/j.enconman.2016.02.009.
81. Rocha-Mendoza, D., Kosmerl, E., Krentz, A., Zhang, L., Badiger, S., Miyagusuku-Cruzado, G., Mayta Apaza, A., Giusti, M., Jiménez-Flores, R. & García-Cano, I. (2021). Invited review: Acid whey trends and health benefits. *Journal of Dairy Science*. 104: 1262-1275. DOI: 10.3168/jds.2020-19038.
82. Rodríguez-Basantes, A. I., Abad-Basantes, C. A., Pérez-Martínez, A. & Diéguez-Santana, K. (2020). Elaboración de una bebida a base de suero lácteo y pulpa de *Theobroma grandiflorum*. *Bioteología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 18: 166-175. DOI: 10.18684/bsaa(18)166-175.
83. Rosales-Mitte, S.P. (2019) *Evaluación de los efectos del pH, la temperatura y el medio nutritivo en la producción de ácido cítrico a partir de la fermentación de lactosuero con Aspergillus carbonarius*. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17124>.
Fecha de consulta: 22 de agosto del 2021.
84. Savvides, A., Katsifas, E., Hatzinikolaou, D., & Karagouni, A. (2012). Xanthan production by *Xanthomonas campestris* using whey permeate medium. *World Journal Of Microbiology And Biotechnology*, 28: 2759-2764. DOI: 10.1007/s11274-012-1087-1.
85. Skryplonek, K., Dmytrów, I., & Mituniewicz-Matek, A. (2019). Probiotic fermented beverages based on acid whey. *Journal of Dairy Science*. 102: 7773–7780. DOI: 10.3168/jds.2019-16385.
86. Sousa, Y. R. F., Araújo, D. F. S., Pulido, J. O., Pintado, M. M. E., Martínez-Férez, A. & Queiroga, R. C. R. E. (2019). Composition and isolation of goat cheese whey oligosaccharides by membrane

- technology. *International Journal of Biological Macromolecules*, 139: 57–62. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2019.07.181.
87. Stobaugh, H. C., Ryan, K. N., Kennedy, J. A., Grise, J. B., Crocker, A. H., Thakwalakwa, C. & Trehan, I. (2016). Including whey protein and whey permeate in ready-to-use supplementary food improves recovery rates in children with moderate acute malnutrition: A randomized, double-blind clinical trial. *American Journal of Clinical Nutrition*. 103: 926-933. DOI: 10.3945/ajcn.115.124636.
88. Thakkar, P., Vaghela, B., Patel, A., Modi, H.A. & Prajapati, J.B. (2018). Formulation and shelf life study of a whey-based functional beverage containing orange juice and probiotic organisms. *International Food Research Journal*. 25: 1686-1692. Disponible en: [http://www.ifrj.upm.edu.my/25%20\(04\)%202018/\(47\).pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/25%20(04)%202018/(47).pdf). Fecha de consulta: 27 de agosto del 2021.
89. Tirado-Armesto, D.F., Granados, C.C., Acevedo, C.D., Marulanda, M. & De-La-Hoz, E. (2015). Elaboración de una bebida láctea a base de lactosuero fermentado usando *Streptococcus salivarius ssp.*, *Thermophilus* y *Lactobacillus casei ssp. casei*. *Limentech Ciencia y Tecnología Alimentaria*. 13: 13-19. DOI: 10.24054/16927125.v1.n1.2015.1612.
90. Torres, I. C., Amigo, J. M., Knudsen, J. C., Tolkach, A., Mikkelsen, B. Ø. & Ipsen, R. (2018). Rheology and microstructure of low-fat yoghurt produced with whey protein microparticles as fat replacer. *International Dairy Journal*. 81: 62-71. DOI: 10.1016/j.idairyj.2018.01.004.
91. Tsermoula, P., Khakimov, B., Nielsen, J. & Engelsen, S. (2021). WHEY - The waste-stream that became more valuable than the food product. *Trends In Food Science & Technology*, 118: 230-241. DOI: 10.1016/j.tifs.2021.08.025.
92. Turner, T. L., Kim, E., Hwang, C. H., Zhang, G. C., Liu, J. J. & Jin, Y. S. (2017). Short communication: Conversion of lactose and whey into lactic

- acid by engineered yeast. *Journal of Dairy Science*. 100: 124–128. DOI: 10.3168/jds.2016-11784.
93. Valadao, N. K., Andrade, M.G.D., Jory, J.C., Gallo, F.A. & Petrus, R.R. (2015). Development of a Ricotta Cheese Whey-based Sports Drink. *Advances In Dairy Research*, 4:1000156. DOI: 10.4172/2329-888x.1000156
94. Velázquez-López, A., Covatzin-Jirón, D., Meza, M.D. & Vela-G, G. (2018). Bebida fermentada elaborada con bacterias ácido lácticas aisladas del pozol tradicional chiapaneco. *Revista Ciencia UAT*. 13: 165-178. DOI: 10.29059/cienciauat.v13i1.871.
95. Verardo, V., Gómez-Caravaca, A., Arráez-Román, D. & Hettinga, K. (2017). Recent Advances in Phospholipids from Colostrum, Milk and Dairy By-Products. *International Journal Of Molecular Sciences*. 18:173. DOI: 10.3390/ijms18010173.
96. Vincent, C. (2017a). Producto dietético destinado a la disminución de la grasa visceral en parte preoperatoria bariátrica (México, No. de patente MX 351664 B). Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.
97. Vincent, C. (2017b). Producto dietético destinado a la prevención del riesgo cardiometabólico (México, No. de patente MX 351240 B). Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial.
98. Vivas, Y.A., Morales, A.J. & Otálvaro, A.M. (2016). Aprovechamiento de lactosuero para el desarrollo de una bebida refrescante con antioxidantes naturales. *Revista Alimentos Hoy*. 24: 185-199.
99. Yadav, J. S. S., Yan, S., Pilli, S., Kumar, L., Tyagi, R. D. & Surampalli, R. Y. (2015). Cheese whey: A potential resource to transform into bioprotein, functional/nutritional proteins and bioactive peptides. *Biotechnology Advances*. 33: 756-774. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2015.07.002.
100. Zhang, J. W., Tong, X., Wan, Z., Wang, Y., Qin, L. Q. & Szeto, I. M. (2016). Effect of whey protein on blood lipid profiles: A meta-analysis

- of randomized controlled trials. *European Journal of Clinical Nutrition*, 70: 879-885.
DOI: 10.1038/ejcn.2016.39
101. Zhao, C. & Ashaolu, T. (2020). Bioactivity and safety of whey peptides. *LWT-Food Science and Technology*. 134: 109935. DOI: 10.1016/j.lwt.2020.109935.
102. Zhao, C., Chen, N. & Ashaolu, T. (2021). Whey proteins and peptides in health-promoting functions – A review. *International Dairy Journal*, 126: 105269. DOI: 10.1016/j.idairyj.2021.105269
103. Zhou, X., Hua, X., Huang, L., y Xu, Y. (2019). Bio-utilization of cheese manufacturing wastes (cheese whey powder) for bioethanol and specific product (galactonic acid) production via a two-step bioprocess. *Bioresource Technology*, 272: 70-76. DOI: 10.1016/j.biortech.2018.10.001.