

Aportación a la lactología en México

Construyendo redes de conocimiento



María Patricia **Chombo Morales**
Coordinadora

APORTACIÓN A LA LACTOLOGÍA EN MÉXICO. CONSTRUYENDO REDES DE CONOCIMIENTO

María Patricia Chombo Morales

Coordinadora editorial



COECYTJAL
Consejo Estatal de Ciencia
y Tecnología de Jalisco



CONACYT
Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología



Aportación a la lactología en México. Construyendo redes de conocimiento

María Patricia Chombo Morales, coord. ed.; México: Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C.

1ª. edición

315 p.: 66 figuras; 36 tablas; 17 x 21.5 cm

ISBN 978-607-8734-38-2

T. 664 Tecnología alimentaria – TDCT Tecnología de alimentos y bebidas

Primera edición, mayo 2022

D.R. © 2022, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C.

Av. Normalistas 800, Colinas de La Normal, 44270 Guadalajara, Jal.

Impreso y hecho en México

Printed and made in Mexico

Contenido

Prólogo	9
Capítulo 1. El sector lácteo nacional, tendencias y oportunidades de innovación	
1.1 Introducción	15
1.2 Antecedentes de la industria láctea en México y el mundo	15
1.3 Situación global de productos lácteos	20
1.4 Tendencias de mercado en productos lácteos	30
1.5 Conclusiones	35
1.6 Bibliografía	37
Capítulo 2. Hábitos de consumo y características socioeconómicas del consumidor mexicano de productos lácteos	
2.1 Introducción	43
2.2 Metodología	45
2.3 Resultados	46
2.4 Conclusiones	51
2.5 Bibliografía	53
Capítulo 3. Procesos industriales de leche y derivados lácteos	
3.1 Introducción	55
3.2 Leche fluida	56
3.3 Producción de leche en polvo	64
3.4 Queso	67
3.5 Mantequilla	72
3.6 Yogur natural	77
3.7 Procesamiento de lactosuero	84
3.8 Conclusiones	93
3.9 Bibliografía	93
Capítulo 4. Innovación tecnológica. Aplicaciones de alta presión hidrostática y ultrafiltración en leche y derivados	
4.1 Introducción	95
4.2 Aplicación de la tecnología de alta presión hidrostática (APH) en los lácteos	97
4.3 Aspectos de seguridad de la APH: La inactivación microbiana en productos lácteos y derivados	100

4.4	Efecto de APH en la composición y propiedades fisicoquímicas de los lácteos	102
4.5	Impacto del procesamiento de APH en la composición volátil de productos lácteos	107
4.6	Perspectiva de I+D de la tecnología APH: inversión y nuevos desarrollos	112
4.7	Aplicación de la tecnología de membranas en la Industria láctea	116
4.8	Perspectiva de I+D de la tecnología de membranas: nuevos desarrollos	128
4.9	Conclusiones	131
4.10	Bibliografía	133

Capítulo 5. Productos lácteos tradicionales de México: aportes científicos y tecnológicos

5.1	Introducción	139
5.2	Historia de los lácteos en México	142
5.3	Quesos y queso de suero del Occidente de México	145
5.4	Queso añejo enchilado de Zacatecas	163
5.5	Jocoque	168
5.6	Cajeta y otros dulces con base en leche	173
5.7	Conclusiones	181
5.8	Bibliografía	182

Capítulo 6. Microorganismos lácticos. Origen y aporte a la inocuidad y a la calidad de los lácteos

6.1	Introducción	187
6.2	Origen de los microorganismos lácteos	189
6.3	Tecnologías convencionales para el control de inocuidad en lácteos	191
6.4	Microflora natural y cultivos lácticos comerciales y su aplicación...	198
6.5	Actividad microbiana en la calidad de los lácteos	203
6.6	Conclusiones	211
6.7	Bibliografía	212

Capítulo 7. Lácteos fermentados y salud intestinal

7.1	Introducción	219
7.2	¿Qué son los lácteos fermentados y cómo afectan la salud?	219
7.3	El yogur, lácteo fermentado al alcance de todos	225
7.4	Kéfir: origen, proceso de elaboración, composición microbiota y propiedades biológicas	231

7.5	El jocoque, un lácteo fermentado muy tradicional	235
7.6	Conclusiones	236
7.7	Bibliografía	237

Capítulo 8. Propiedades funcionales de la leche y de los derivados lácteos

8.1	Introducción	241
8.2	Propiedades bioactivas de leche y sus derivados	243
8.3	Propiedades tecno-funcionales de leche y sus derivados	248
8.4	Tendencias en alimentos lácteos funcionales	249
8.5	Ejemplo práctico: Propiedades tecno-funcionales del helado	253
8.6	Ejemplo práctico: Encapsulación de hidrolizados de proteína de frijol en un modelo lácteo con efecto funcional	256
8.7	Conclusiones	260
8.8	Bibliografía	261

Capítulo 9. Propiedades de la leche y los lácteos evaluadas por metodologías instrumentales

9.1	Introducción	267
9.2	La espectroscopia de infrarrojo	269
9.3	El análisis de textura en productos lácteos	273
9.4	Identificación de compuestos volátiles por cromatografía de gases-espectroscopia de masas y micro extracción en fase sólida (SPME-GC-MS)	277
9.5	Reología en productos lácteos	282
9.6	Productos y aplicaciones basadas en las técnicas de análisis.....	287
9.7	Conclusiones	288
9.8	Bibliografía	289

Capítulo 10. Normatividad obligatoria y voluntaria para leche y sus derivados

10.1	Introducción	293
10.2	Contexto nacional e internacional. organismos normativos	294
10.3	Nueva ley de la infraestructura de la calidad	298
10.4	Especificaciones de etiquetado aplicables a los productos lácteos con base en la NOM- 051-SSA1	304
10.5	Listado de normas nacionales	308
10.6	Conclusiones	314
10.7	Bibliografía	315

Prólogo

El Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del estado de Jalisco A.C, (CIATEJ), es un Centro Público de Investigación del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), que impulsa el desarrollo sostenible mediante la generación de conocimiento de vanguardia así como la aplicación innovadora de la Ciencia y Tecnología, cuenta con tres sedes: Noreste, Sureste y Zapopan. En este último campus integra a tres líneas de investigación, Biotecnología Industrial, Biotecnología Vegetal y Tecnología Alimentaria, todas ellas comprometidas en generar conocimiento y ofrecer soluciones tecnológicas a industriales, productores, cooperativas así como a pequeñas y medianas empresas. Tecnología Alimentaria es un grupo integrado por investigadores, ingenieros y tecnólogos, proporciona alternativas en el área de los alimentos lo que mejora la competitividad de los diversos sectores sociales y económicos de los ecosistemas productivos del país, manteniendo un equilibrio con el medio ambiente.

En 2021, la Dra Patricia Chombo, investigadora de Tecnología Alimentaria, quien tiene una gran trayectoria en lácteos, obtuvo el financiamiento del proyecto para la edición, publicación y difusión del libro “Aportación a la Lactología en México. Construyendo una red de conocimiento” del Programa de Difusión y Divulgación de la Ciencia 2021, del COECYTJAL, clave DyD2021 9314.

En este proyecto se integra el conocimiento y la labor de los colaboradores participantes en la redacción de la obra, en la que se manifiesta el interés y dedicación por fortalecer el sector lácteo del país. La Dra. Chombo logra integrar la visión de investigadores y profesionales de diversas especialidades, incluyendo a otras instituciones, lo que permitirá que el lector interesado en estas temáticas de la lactología conozca las rutas por las que puede sentirse apoyado para incrementar su competitividad, resolver sus inquietudes de conocimiento, continuar sus estudios profesionales o resolver situaciones en su empresa, si es el caso.

Este libro proporciona una visión interdisciplinaria de la lactología en México, en donde se incluye temas como la situación del sector lácteo en México, las tendencias y oportunidades, la normatividad para la leche

y derivados que priva en México. Adicionalmente se incluyen temas dedicados a los productos lácteos tradicionales en México, y el papel que los microorganismos tienen en salud, inocuidad y calidad de lácteos. Así mismo se tocan temas innovadores como propiedades funcionales de la leche, ya que además de lo nutritiva que es, presenta propiedades funcionales. Hay también temas de conservación por altas presiones y ultrafiltración, procesos que no involucran a la temperatura. Se incluyen dos temas importantes como los hábitos de consumo y características socioeconómicas del consumidor, así como métodos instrumentales para evaluar las propiedades fisicoquímicas de la leche.

Esta obra integra el conocimiento adquirido por muchos años sobre la lactología en México, por el CIATEJ, en donde además de ser un entregable del proyecto, nos proporciona conocimiento y nos permite adentrarnos en temas fundamentales de la leche en donde se tocan aspectos de base científica, tecnológica, económica y social. Este libro es una contribución importante a la sociedad y al país.

*Eugenia Lugo Cervantes
Directora General del CIATEJ
Guadalajara Jalisco 25 de enero 2021*

CONTRIBUCIÓN DE LA SUBSEDE ZAPOPAN. CIATEJ

La subsede Zapopan del CIATEJ, desde el inicio de sus actividades en enero de 2015, cuenta con investigadores así como instalaciones de laboratorio y de planta piloto que nos permiten desarrollar diferentes tipos de proyectos relacionados con la lactología en general. Estos proyectos abarcan temáticas muy diversas, como proyectos básicos de investigación, desarrollo de nuevos productos e incluso el aprovechamiento de subproductos de la industria como el lactosuero. De manera más puntual, en Zapopan se han estudiado temas como la evolución de consorcios microbianos a la largo de la maduración del queso así como su contribución a la inocuidad y al perfil sensorial. De igual manera, se estudian y desarrollan técnicas de vanguardia para el análisis de la calidad de la leche, entre otros.

También nos preocupa el aprovechamiento de subproductos, como el lactosuero generado en grandes cantidades por la industria quesera. Este subproducto, si no está controlado, es altamente contaminante para el medio ambiente. En este caso, se ha utilizado el lactosuero como ingrediente en el desarrollo de nuevos productos y también para la producción de prebióticos y probióticos como ingredientes de la industria de los alimentos funcionales. Otra utilización del lactosuero es como medio de cultivo para la generación de proteína unicelular.

Por otra parte, la pandemia nos enseñó a trabajar a distancia. Se intensificaron acciones de difusión, como la organización de diferentes seminarios en línea. En este marco, se ofrecieron a la largo de 2020 e inicios de 2021, jornadas de trabajo sobre diversos temas de la lactología en donde participaron investigadores del CIATEJ involucrados en estos temas, así como invitados externos. Estos seminarios y el trabajo en conjunto (a distancia) de un gran equipo liderado por la Dra. Patricia Chombo permitió plasmar todo este conocimiento en la obra titulada *Aportación a la Lactología en México. Construyendo una red de conocimiento*, con apoyo en su publicación por el Programa de Difusión y Divulgación de la Ciencia 2021 del COECYTJAL.

*Dra. Anne Gschaedler
Directora de la Unidad Zapopan. CIATEJ
Marzo, 2022*

CONTRIBUCIÓN DE LA SUBSEDE NORESTE. CIATEJ

La región Norte de México, a pesar de no ser una zona de alta producción de lácteos, se ha caracterizado por impulsar el desarrollo de estrategias innovadoras para la diversificación de sus procesos y productos, donde el sector lácteo no ha sido la excepción. En la subsele Noreste del CIATEJ, se han podido desarrollar proyectos de investigación y transferencia de tecnología tales como el relacionado con el desarrollo de una plataforma de quesos regionales con características de inocuidad y perfil artesanal, utilizando la aplicación de tecnologías emergentes, como la alta presión

hidrostática, así como contribuido a la integración de PYMES productoras de quesos regionales, abriendo la oportunidad de la interacción y la investigación en centros públicos, universidades, gobierno y la sociedad en un ecosistema innovador.

Este ecosistema nos ha brindado la oportunidad de impulsar los avances en tecnologías y desarrollo de productos en el sector lácteo, que se exploran a nivel laboratorio, concretándose con trabajos en las líneas de producción. Por ejemplo, en la actualidad, en el sector lácteo de la región Norte, tópicos como aumento de la productividad, seguimiento de la calidad de la materia prima, reducción de mermas, manufactura eficiente, mano de obra especializada, entornos interconectados, uso de sensores, uso de herramientas 4.0, etcétera, están tomando una importancia crucial a nivel industrial. La implementación de estos conceptos no puede ser impulsada sin una sensibilidad profunda y práctica del sector lácteo tal como se aborda en esta obra.

De esta forma, las experiencias de investigación y desarrollo en la subselección Noreste han aportado una visión complementaria a la de nuestros colegas autores en este libro, formando grupos de trabajo para el desarrollo de productos, pruebas de nuevas tecnologías o mejoras de procesos para el sector lácteo, que en otras circunstancias y experiencias no se hubiesen podido realizar.

*Dr. Jorge Alberto García Fajardo
Director de la Unidad Noreste. CIATEJ
Marzo, 2022*

CONTRIBUCIÓN DE LA SUBSELECCIÓN SURESTE. CIATEJ

Los lácteos han sido, son y serán alimentos consumidos de manera importante por su alta aceptación por el ser humano. En este sentido es muy importante conocer a fondo sus propiedades tecno-funcionales, además de las nutritivas, para ofrecer productos altamente saludables a los consumidores. La Subselección Sureste del CIATEJ ha aportado su granito de arena a la Lactología en México a través del estudio reológico de bebidas lácteas saborizadas y su mejoramiento a través de la incorporación de

algunas gomas para mejorar su estabilidad, así como la reformulación para obtener una bebida de bajo aporte calórico, permitiéndonos ser parte de esta área alimenticia y contribuir a su mejora a través de conocimiento científico. Aunado a lo anterior, los investigadores de la Subsele Sureste pueden brindar el apoyo a pequeños y grandes productores de sector lácteo del sureste como Chiapas, Tabasco, Campeche y Yucatán que necesiten analizar, mejorar o desarrollar nuevos productos o procesos de acuerdo con sus condiciones específicas y les permita lograr mayor reconocimiento nacional.

*Dra. María Teresa Ayora
Directora de la Unidad Sureste. CIATEJ
Enero, 2022*

Capítulo 1

El sector lácteo nacional, tendencias y oportunidades de innovación

Urzua-Esteva, Evaristo J.¹

1.1 Introducción

La formación y crecimiento de la industria láctea a nivel mundial ha sido el resultado de una combinación de factores que, a lo largo del tiempo, han favorecido su expansión. Originada en el establecimiento de una producción ganadera en zonas rurales, ha crecido con el incremento de la población en zonas urbanas, para después evolucionar con la incorporación de tecnología en la extracción y conservación, el mejoramiento en los puntos y formas de distribución, han sido factores clave en su evolución.

A más de un siglo del inicio de esta industria, las condiciones actuales del ecosistema ofrecen nuevas oportunidades para los distintos actores, en especial a los productores, por la cercanía con los mercados, el desarrollo tecnológico así como por las necesidades de los consumidores.

El objetivo de este capítulo es analizar la situación del ecosistema actual para el sector lácteo, como consecuencia de una serie de sucesos, con énfasis en México, y cómo las tendencias en los mercados pueden presentar nuevas oportunidades al sector.

1.2 Antecedentes de la industria láctea en México y el mundo

El sector lácteo no sería lo que es sin el desarrollo de la cría de ganado, introducido por los españoles a América a principios del siglo XVI, llevándolo primero a través de las Indias Occidentales hasta llegar al

¹ Autor de correspondencia. Unidad de Vinculación y Transferencia de Tecnología, Subsede Normalistas. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Av. Normalistas 800, Colinas de la Normal, C.P. 44270. Guadalajara, Jalisco, México. urzua@ciatej.mx.

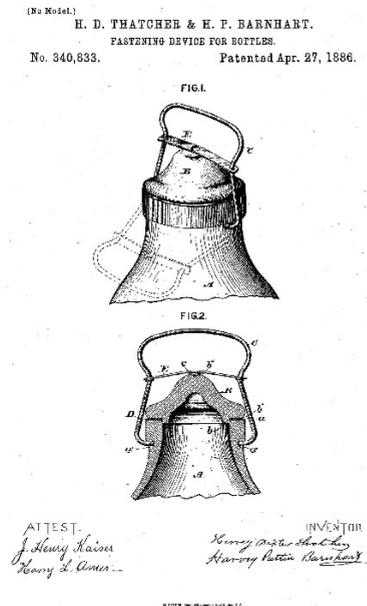
continente (Bowling, 1942). Todo con la idea de satisfacer la necesidad de carne y productos lácteos de los colonizadores, porque estos alimentos formaban parte de su dieta, así como la utilización de su piel y subproductos con otros fines. Fue esta colonización la que expandió su horizonte hasta las regiones fronterizas de la Nueva España más allá del Río Grande, como lo eran Nuevo México y California, además de Florida desde las islas del Caribe. Para fines de siglo la ganadería se había establecido como parte del comercio en las regiones colonizadas y sus subproductos conformaban la dieta de estos grupos. Franceses, holandeses, suecos e ingleses, por su parte, introdujeron distintas especies en el norte de América a principios del siglo XVII, trayéndolo de Europa en un inicio, y después a través de la misma crianza. Historias similares ocurrieron en las distintas colonias donde el ganado bovino no era nativo de la región, como fue Brasil, Nueva Zelanda o Australia. En otras regiones, como India, China o Etiopía, ya existía ganado nativo, el cual se criaba como parte de la subsistencia de las familias, ya fuera como animal de tiro, suministro de leche o fuente de carne.

La economía familiar en las zonas rurales, previo a la era de la industrialización, consistía en gran medida en comunidades que buscaban el autosustento con base en la producción agrícola de pequeñas parcelas y la utilización de pequeños hatos, quienes podían tenerlo, como fuente adicional de alimento, donde las vacas se ordeñaban a mano y los excedentes de leche se podían intercambiar, o se podían utilizar para otro tipo de productos que tuvieran una vida de útil más larga, como crema, yogur o queso.

Conforme las personas pudieron obtener ingresos de actividades no agrícolas y se concentraron en poblados, estos sitios fueron fuente de una demanda de productos primarios, sin embargo, la distancia entre donde se producía y donde se consumía podía representar una dificultad, porque había que trasladarse y los productores no siempre contaban con un medio de transporte. En el siglo XIX se generaron varios inventos y descubrimientos que serían clave en la comercialización de leche de bovino, entre ellos la pasteurización y la botella para leche, serían los más trascendentes (Food Policy) For Thought, 2014). La figura 1.1 muestra la patente de la botella del doctor Hervey D. Thatcher un farmacéutico de la ciudad de Postdam en Nueva York. La segunda revolución industrial vendría a detonar el crecimiento de la industria láctea con la incorporación de las máquinas ordeñadoras, la pasteurización, los vehículos motorizados y posteriormente, la refrigeración.

Adicionalmente la cadena de valor empezaría a tener más eslabones, pues a los productores se les dificultaba distribuir su producto en las ciudades, y para ello requerían de alguien que recibiera el producto a granel, lo procesara, envasara y distribuyera. En muchos países “el lechero” era la persona que distribuía la leche casa por casa, todos los días. Esto cambió en la mayoría de los países donde las tiendas de conveniencia y supermercados se hicieron presentes, y el lechero formó a ser parte de la historia, con la excepción de algunos sitios como Inglaterra, donde aún se puede encontrar a personas distribuyendo leche a domicilio (Dairy UK, n.d.).

Figura 1.1. Botella de leche y patente del doctor Harvey D. Thatcher (elaboración propia con información del Museo Público de Postdam y la oficina de patentes de EEUU).



A principio del siglo XX la producción de leche y derivados, en los países más desarrollados, empezó a hacer necesario que los productores se organizaran para poder realizar las inversiones que requería el aumento de la demanda y la necesidad de garantizar la higiene del producto, así como para defender los precios con los distribuidores. Aunque la leche ya

se pasteurizaba en algunos países desde el siglo XIX, no fue sino hasta el nuevo siglo que las leyes lo hicieron obligatorio para evitar enfermedades como la tuberculosis. Así, los productores alrededor del mundo se agruparon en diferentes modelos organizativos, preferentemente cooperativas, y para 1915 Estados Unidos contaba ya con un consejo nacional que incorporaba a la mayoría de los grupos del país (US Dairy, n.d.). En México, se dio preferencia a las uniones de ganaderos y a las cámaras, sin embargo, esto ocurriría hasta después de 1940.

A principios del siglo XX el consumo de leche en México era limitado pues no había una estructura productiva, y estaba restringido a lo que las familias con ganado podían generar y distribuir (Martínez Borrego, 2009). En 1935 se instaló en Jalisco, que era de los pocos estados con más de 1 millón de habitantes, la primera planta de la empresa suiza Nestlé, en Ocotlán, y posteriormente generaría el primer distrito lechero en México, dándole un impulso a la zona.

El aumento en el consumo de leche, y de la producción para satisfacerlo, fueron producto de una serie de factores como la Reforma Agraria, el crecimiento de la industria ganadera en la frontera con México, el impulso del gobierno hacia el consumo de carne, la posibilidad de conformar uniones de crédito, y la exigencia, por ley, de que la leche fuera pasteurizada y embotellada. Ello derivó en la instalación de plantas pasteurizadoras en todo el país, algunas de ellas propiedad de las uniones ganaderas, como Pasteurizadora La Laguna (1949), ahora Grupo Lala (Cerutti Pignat & Rivas Sada, 2008).

Dado el auge que tenía la leche como fuente de alimentación, y la concentración de personas de escasos recursos en la Ciudad de México, el gobierno de Avila Camacho generó un programa “Abasto Social de Leche” en 1944 e inauguró la primera lechería pública llamada Nacional Distribuidora y Reguladora, S.A. de C.V. (NADYRSA), que con los años se convertiría en Leche Industrializada CONASUPO, S. A. de C. V (LICONSA), empresa distribuida en diez plantas industriales a lo largo del país que benefician a cerca de 6 millones de personas y que ahora es de los principales importadores de leche en polvo del país (Secretaría del Bienestar, n.d.).

En la segunda mitad del siglo pasado, las empresas productoras de lácteos tuvieron un auge en México, se fundaron empresas como Lechera Guadalajara (1961), Pasteurizadora Aguascalientes (1964), Lechería

Zaragoza (1970), Asociación Nacional de Productores de Leche Pura (1970), y Pasteurizadora Maulec (1970), entre otras. La cercanía con Estados Unidos permitía que la tecnología desarrollada allá fuera adquirida e implementada en México, lo que fomentó una mayor tecnificación y crecimiento del sector. En muchos casos, equipo de segunda mano que resultaba ya poco rentable para los volúmenes del vecino del norte, eran adecuados para los volúmenes en México. Marcas como Jersey, Zaragoza, Lucerna, Gota Blanca, Marsella, San José, Santa Mónica, Yaqui, Tamariz, empezaban a sonar familiares entre los consumidores de las capitales al norte del país, que en su mayoría sólo producían leche fluída.

La producción de quesos, aunque tenía un origen similar, tuvo un desarrollo diferente en México y otras regiones, en principio porque los quesos tenían demanda más limitada. Además, no se necesitaba tener ganado para generar quesos, sólo poder contar con la leche cruda, y en esos casos tenían la posibilidad de formular distintos productos, como queso fresco o madurado, pero también crema, jocoque, nata, mantequilla o dulces. Esto provocó que hasta principios del siglo XX la mayoría de los quesos fueran artesanales, y que a lo largo de los años, desde su introducción, sufrieran de un mestizaje y adaptación a los paladares de las distintas regiones (Villegas de Gante & Huerta Benítez, 2015). Por ello no es extraño que el queso panela, el quesillo de Oaxaca, el adobera de Jalisco, pudieran tener símiles en otras zonas o países donde originalmente se crearon. Tan sólo la disponibilidad de un tipo de leche en particular, como búfalo, cabra o borrega, podía hacer el cambio en una formulación y crear una nueva variedad.

Fue en la segunda mitad del siglo XX cuando la industrialización generó una variedad de productos similares a los quesos genuinos, como los procesados, los untables o los análogos. Las grandes empresas buscarían colocar en el gusto de los consumidores, alternativas de quesos que podían reconocer, como el manchego. Este mercado estaría entonces competido por quienes tenían la producción de leche y los que dominaban el mercado de fiambres.

Otros derivados, como el yogur, comenzaron a ser populares hasta el final del siglo XX puesto que el mercado mexicano no tenía el gusto por el producto. Fue en 1974 cuando la empresa francesa Danone llegó a México y le dio un giro al mercado, adicionando este tipo de productos al abanico de ofertas (Grupo Danone, n.d.). Aunque hubo algunas empresas

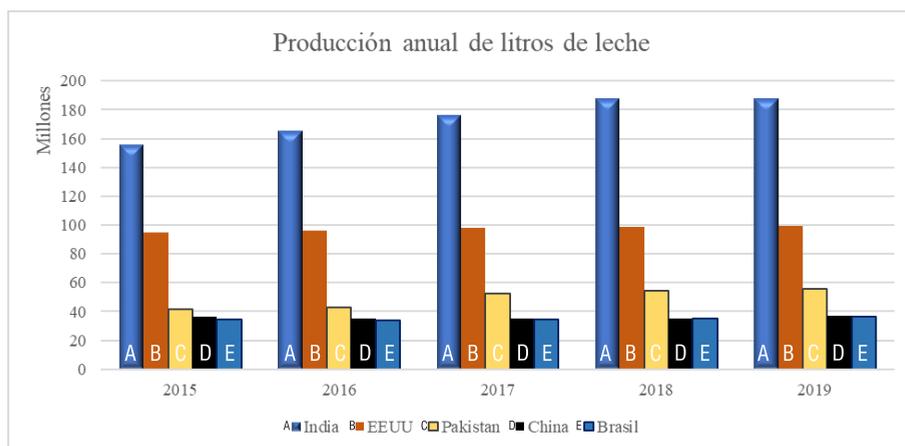
familiares, como la jalisciense Lejaim en 1970, que empezaron de forma artesanal y lograron ocupar un espacio significativo en el mercado regional (Suárez, 2004).

Otro caso particular fue el de la empresa japonesa Yakult (1981), que desarrolló una bebida láctea incorporando microorganismos probióticos, y que junto con una estrategia de venta que generaba círculos de confianza personales con amas de casa como distribuidoras, logró penetrar el mercado mexicano con un producto que inicialmente era desconocido.

El desarrollo del empaque y el avance en la pasteurización lograron darle a la leche y sus derivados la posibilidad de alcanzar regiones más alejadas. El polietileno, el papel laminado, el polipropileno, el PVC fueron sólo algunos desarrollos que se incorporaron a los envases, ya fuera en las tapas, los contenedores, los sellos o las etiquetas, ofreciendo mejoras en las características del producto como vida de anaquel, facilidad de transporte, higiene, presentación y costo.

1.3 Situación global de productos lácteos

Figura 1.2. Producción de los principales países productores de leche en el periodo 2015-2019 (elaboración propia con datos de FAO).



A nivel mundial, la producción de leche fresca cruda en 2019 fue de 883.7 millones de toneladas (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2021). De las cuales el 81.0% fue de vaca, 15.1% de

búfalo, 2.3% de cabra, y el resto de oveja y camello. Los cinco principales productores de leche de vaca fueron Estados Unidos (13.8%), India (12.6%), Brasil (5.0%), Alemania (4.6%) y China (4.5%). Mientras que los principales productores de leche de búfalo fueron India (68.8%), Pakistán (25.7%), China (2.2%), Egipto (1.6%) y Nepal. (1.0%). La figura 1.2 muestra los cinco principales países productores de leche durante el periodo 2015 a 2019. El crecimiento anual promedio para el periodo 2015-2019 fue de 2.1% en el caso de la leche de bovino, y de 5.5% para la de búfalo. Esto concuerda con el hecho de las capacidades ganaderas de las regiones, pues Brasil, India, Estados Unidos y China son los países con el mayor número de cabezas de ganado, aunque no todos están destinados a la producción de leche. Cuando consideramos la producción de leche en función de la población, vemos que países como Nueva Zelanda, Irlanda, Dinamarca, Holanda y Bielorrusia produjeron más de 780 kg por habitante en el 2019, lo cual les permite un excedente para generar otro tipo de productos adicionales a la leche fresca pasteurizada. Por otra parte, India alcanza una producción de 131 kg *per capita* (kpc) entre la leche de vaca y búfalo, mientras que Pakistán llega a los 155 kg tan sólo con la de búfalo. En Latinoamérica, Uruguay (642 kpc) y Colombia (429 kpc), ambos con una fuerte tradición ganadera, son los países con una mayor producción por habitante, mientras que las islas caribeñas son las que menos.

Globalmente la mayor parte de la leche cruda se consume líquida, ya sea hervida o pasteurizada, el resto se convierte en diversos productos. En 2018, se generaron 191 millones de toneladas de derivados lácteos, y el crecimiento promedio anual en el periodo 2015-2018 fue de 1.28%, lo cual representa apenas el 40% del crecimiento de producción de leche cruda en el mismo tiempo. De estos, el 70% es leche desnatada de vaca, y el 10% es queso de leche entera de vaca, aunque en cada país los porcentajes pueden variar según el consumo y destino. Los principales países productores de derivados lácteos, en términos de volumen, fueron Estados Unidos (13.7%), Alemania (10.5%), Francia (7.5%), Nueva Zelanda (6.0%) y Rusia (4.7%). En términos de cada producto individual hay algunas variaciones notables, por ejemplo, la India es el principal productor de mantequilla a nivel mundial, sin embargo, la mayor parte es de búfalo o una variedad de mantequilla clarificada llamada *ghee* o *giu*, que se utiliza en la gastronomía india. Aunque Italia no es uno de los países que más producen derivados

lácteos, sí es uno de los cuatro principales productores de queso de vaca. Nueva Zelanda y Brasil son el primero y segundo lugar en la producción de leche entera deshidratada.

En términos de comercio internacional de leche y productos lácteos, los principales productos de exportación en 2019 fueron la leche en polvo en distintas modalidades, baja en grasa o endulzada, el queso sin procesar y la mantequilla (United Nations, n.d.). Los principales países exportadores de leche en polvo con un contenido de grasa superior al 1.5% de su peso, fueron EE.UU, Nueva Zelanda, Alemania, Francia e Irlanda. Mientras que para leche en polvo con menos del 1.5% fue Nueva Zelanda quien realizó el 53% de las exportaciones a nivel mundial. En términos de queso, los principales exportadores a nivel mundial fueron los Países Bajos, Francia, Alemania, Italia e Irlanda. Aunque los quesos holandeses, italianos y franceses, como el edam, gouda o brie, son conocidos en todo el mundo, tanto los alemanes e irlandeses han logrado replicar estos quesos y comercializarlos exitosamente. Respecto a la mantequilla de exportación, fueron Nueva Zelanda, Irlanda, Países Bajos, Alemania y Bélgica quienes representan más del 50% de la exportación mundial. En la tabla 1.1. se muestran los valores de las exportaciones de los principales países exportadores de lácteos.

Tabla 1.1. Principales países exportadores de lácteos en 2019 por fracción arancelaria (elaboración propia con datos de Naciones Unidas).

VALOR DE LAS EXPORTACIONES LÁCTEAS DE LOS PRINCIPALES PAISES POR FRACCIÓN ARANCELARIA							
AÑO: 2019 (DOLARES)							
	401 Leche y nata (crema), sin concentrar, sin adición de azúcar ni otro edulcorante.	402 Leche y nata (crema), concentradas o con adición de azúcar u otro edulcorante.	403 Suero de mantequilla, leche y nata (crema) cuajadas, yogur, kefir y demás leches y natas	404 Lactosuero, incluso concentrado o con adición de azúcar u otro edulcorante;	405 Mantequilla y demás materias grasas de la leche; pastas lácteas para untar.	406 Quesos y requesón.	TOTAL
Nueva Zelanda	605,388,770	5,651,112,769	109,894,257	414,910,962	3,803,185,830	1,326,506,386	11,910,998,974
Alemania	1,437,515,997	1,481,487,708	954,155,896	577,719,098	787,886,398	4,615,373,897	9,854,138,994
Países Bajos	834,007,309	1,521,028,510	105,663,550	413,888,589	1,522,298,225	4,114,548,043	8,511,434,226
Francia	703,899,794	950,616,401	530,931,704	523,180,125	569,130,603	3,514,329,053	6,792,087,680
EE.UU	122,424,527	1,806,706,807	102,971,501	643,466,958	123,763,610	1,571,465,416	4,370,798,819
Italia	81,505,321	53,443,742	27,439,606	187,748,111	74,251,223	3,589,939,135	4,014,327,138
Bélgica	757,742,114	793,699,436	255,873,039	63,872,133	783,418,945	961,464,427	3,616,070,094
Irlanda	85,213,133	573,777,587	78,630,075	177,246,441	1,280,137,913	1,166,498,929	3,361,504,078
Dinamarca	223,809,559	240,261,344	18,631,572	230,951,749	295,630,104	1,605,337,651	2,614,621,979
Polonia	485,681,059	338,564,112	147,919,185	219,380,858	264,407,034	889,743,320	2,345,695,568

En cuanto a las importaciones, Alemania, China, Francia, Italia y

Holanda son los principales importadores a nivel mundial de productos lácteos en términos del valor. Aunque los países pertenecientes a la Unión Europea su comercio se basa principalmente en quesos de distintas categorías y se realiza entre los propios miembros de la UE, esto también incluye la compra de leche fluída con un contenido de grasa entre el 1.5% y el 6%, y mantequilla. China, en su mayoría, importa gran cantidad de leche en polvo desde Nueva Zelanda, sin embargo, en el periodo de 2015 a 2019 hubo un incremento en las exportaciones desde Hong Kong y Australia, quienes actuaron como puente de regiones como Países Bajos o Nueva Zelanda, y donde se hacen modificaciones a las formulaciones para exportarlas posteriormente a China. En 2019, fuera de los países europeos, o China, de entre los que importaron leche en sus distintas modalidades, los más notables son México, que importa su leche en polvo de Estados Unidos, Algeria, Arabia Saudita o los Emiratos Árabes. En su mayoría, estas importaciones tuvieron la finalidad de cubrir la demanda de leche de sus mercados. En los países árabes representa un reto la producción de leche dadas las condiciones climáticas que no favorecen esta posibilidad. En los países del sureste asiático, como son Malasia, Filipinas, Indonesia, Vietnam o Singapur, la situación es similar, donde la producción local no alcanza para cubrir la demanda del mercado y utilizan la leche en polvo reconstituida para poder cubrirla.

Tabla 1.2. Valor de mercado de los principales grupos de productos lácteos y su proyección (elaboración propia con datos de Euromonitor).

VALOR DE MERCADO DERIVADOS LACTEOS (MDD)										
	BEBIBLES	CREC. %	QUESO	CREC. %	YOGURT	CREC. %	MANTEQ.	CREC. %	OTROS	CREC. %
2018	163,276		116,600		87,850		38,893		55,479	
2019	170,136	4.2%	121,659	4.3%	91,908	4.6%	40,434	4.0%	55,262	-0.4%
2020	179,390	5.4%	132,193	8.7%	97,600	6.2%	43,866	8.5%	57,735	4.5%
2021	187,825	4.7%	136,163	3.0%	102,447	5.0%	45,766	4.3%	58,631	1.6%
2022	198,467	5.7%	143,792	5.6%	109,061	6.5%	48,555	6.1%	60,155	2.6%

De acuerdo con Euromonitor, el mercado de bebidas lácteas a nivel mundial en 2020 tuvo un valor estimado de 179,390 millones de dólares con un crecimiento de 5.4% en comparación con el 2019 y una proyección de crecimiento anual de 4.7%. El 67% fue de leche líquida, el 14% de leche saborizada y el 9.5% en polvo. En su mayoría las bebidas son distribuidas a través de tiendas minoristas de comestibles (96.4%), que van desde los

grandes supermercados (33%) hasta pequeñas tiendas tradicionales e independientes (19%). En la tabla 1.2 se muestran los valores de mercado de los principales segmentos de productos lácteos de 2018 a 2020, su crecimiento, y los pronósticos para el 2021 y 2022.

Existen empresas a nivel global cuya participación en la mayoría de los mercados es el resultado de una trayectoria de más de 100 años en el tema de lácteos, como son Nestlé o Danone, que en el segmento de bebidas lácteas alcanzan un 3.5% y 2.4% de participación, respectivamente. Aunque otras han sido producto de un proceso de crecimiento con base en la adquisición de otras empresas del sector, como es la francesa Lactalis (3.2%), la americana Dean Foods (1.2%) o la mexicana Grupo Lala (1.2%), donde esta última, a raíz de la adquisición de varias lecheras en Estados Unidos se convirtió en la empresa láctea más grande de Latinoamérica (Grupo Lala S.A. de C.V, n.d.). Sin embargo, con base en el valor de las transacciones, son dos empresas chinas las que tienen la mayor participación del mercado, Yili Group (5.1%) y China Mengniu Dairy Company Limited (4.2%), de la región de Mongolia, las cuales atienden el mercado chino, aunque ambas se vieron involucradas en un escándalo de contaminación por melamina en una fórmula láctea para bebés en 2008 (Keck, 2009).

En cuanto al queso, el valor mundial del mercado fue de 132,192.8 millones de dólares en 2020 con un crecimiento anual de 8.7% respecto al 2019. El 80% del valor corresponde a quesos sin procesar, tanto duros como suaves, mientras que el 20% restante se trata de quesos procesados, y de estos, el 59% se refiere a los desarrollados para ser untados. Durante 2020, motivado por la pandemia y el trabajo en casa, el consumo de productos lácteos se incrementó a una tasa que duplicó la de los años anteriores, y el queso fue uno de los favoritos, logrando llegar a 10.7% en el caso de los quesos suaves como lo son el roquefort o el cottage.

La venta de queso, al igual que en las bebidas lácteas, sigue siendo a través de tiendas de comestibles, inclusive en una proporción un poco mayor (97.5) que en la primera. Aunque el canal de comercialización tiene una mayor proporción en un tipo de tienda más moderno (76.4%), donde se incorporan productos y servicios adicionales.

Aunque las empresas que compiten en este mercado tienen un mayor número de marcas y tipos de producto, en él se distinguen algunas que dominan ciertos segmentos o regiones. La americana Kraft Heinz Co, tiene

la mayor participación en el mercado global de quesos, con un 7.0%. Esta empresa resultó de una fusión entre Kraft Foods Inc y Heinz, la primera fundada originalmente en 1923 como una empresa productora de helados y la segunda en 1876, inicialmente una productora de salsa cátsup. Participa en el mercado de los quesos en el segmento de untables con dos marcas reconocidas ampliamente, Kraft y Philadelphia. Su mercado principal se encuentra en Estados Unidos (73%), y la venta en el segmento de lácteos y queso representó en 2020 un 20% de sus ventas totales, siendo Walmart su principal cliente (The Kraft Heinz Company, 2021).

La segunda empresa que tiene mayor participación de mercado (6.6%) en el segmento de quesos es la francesa Lactalis Groupe, predominantemente láctea, que adquirió la empresa Parmalat en 2011 después de su bancarrota. Los mercados principales que atiende se ubican en Europa Occidental (Francia e Italia) y en Brasil, este último representa el mayor potencial de crecimiento para su segmento de quesos. En México participa en el mercado con la empresa Distribuidora de Lácteos Alguil S.A. de C.V., propietaria de la marca Esmeralda.

El segmento de yogur y productos de leche agria fue el tercer lugar en términos de valor en el 2020 con 97,600 millones de dólares y un crecimiento de 6.2% con respecto al 2019. En el grupo de yogur, que es el 93% del segmento, el 42% es bebible, el 36% saborizado, y el 21% es natural, este último tuvo un crecimiento de 9.7%, lo cual lo coloca en un 61% por encima de la categoría. Su principal canal de distribución (94.4%) es través de las tiendas minoristas de comestibles, aunque en un pequeño porcentaje (1.1%) se hace por especialistas no relacionados con comestibles sino con salud y belleza. El tipo de empaque y la vida de anaquel prolongada ha permitido la venta por medios electrónicos (3%), mientras que en otros casos la venta se hace de forma directa (2.4%). En este grupo existe un dominio notable de la empresa Danone, que posee el 13.8% del mercado, aunque este liderazgo lo ejerce mediante distintas marcas, principalmente Activia y Danone. Su más cercano competidor, Inner Mongolia Yili Industrial Group Co Ltd., poseedor de la marca Ambrosial, tiene el 6.8%, aunque sus ventas están dirigidas sólo a China, y en tercer lugar se encuentra Yakult, con 5.6%, que como marca es la líder en este grupo.

En la fracción relacionada con mantequilla y untables, que en 2020 tuvo un valor de 43,865 millones de dólares, tuvo un crecimiento de 8.5%, el mayor

de los últimos 14 años. Aunque la parte exclusiva de mantequilla representa sólo el 51.8% del total, su crecimiento fue 9.0%. Respecto a las ventas globales, la empresa Upfield Holdings B.V., una derivación de la empresa Unilever, tiene la mayor participación (10.8%), pero se trata de productos derivados de plantas, en su mayoría margarinas, con varias marcas en el mercado europeo. De forma individual la marca líder es la americana Land O'Lakes, con el 2.5% del mercado global, siendo ésta una cooperativa fundada en 1921.

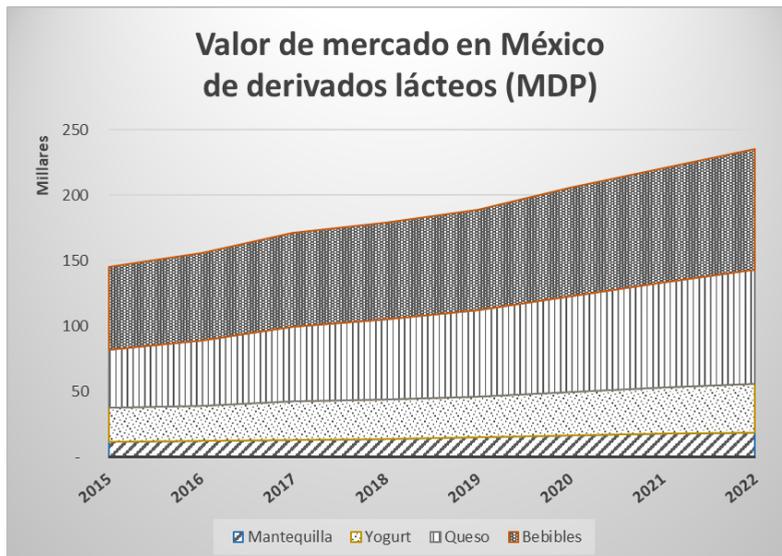
México produjo alrededor de 12.27 millones de toneladas de leche de bovino en 2019 (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, n.d.), y en los cuatro años previos el incremento anual en la producción fue de 1.9%, lo cual es inferior al crecimiento de la población, que fue de 2.4%, e implica menos disponibilidad de leche para la población en general, aunque los grupos de edad que consumen una mayor cantidad de leche fluída están por debajo de los 19 años y estos han mostrado un decrecimiento. Con todo, la CANILEC (Cámara de Nacional de Industriales de la Leche) señala que en 2020 hubo un aumento de 2.3% en la producción de leche, y donde el mercado favoreció las presentaciones de tamaño familiar sobre las individuales (CANILEC, 2021). De los estados que producen mayor cantidad de leche, casi el 65% se concentra en 6 de ellos: Jalisco (20.7%), Coahuila (11.4%), Durango (10.1%), Chihuahua (9.5%), Guanajuato (7.0%) y Veracruz (6.1%). Por otro lado, México importó en 2020 alrededor de 308 mil toneladas de leche en polvo con un contenido de grasa inferior al 1.5% de su peso, lo cual fue 15% menos que el 2019, probablemente por la situación del COVID-19, pues el 98% fue procedente de EEUU cuando los años anteriores había sido sólo el 90% en promedio. Sin embargo, EEUU continúa siendo el principal socio comercial en términos de productos lácteos (Secretaría de Economía, n.d.).

En México, el segmento de bebidas lácteas tuvo un valor de 82,453 millones de pesos en 2020 con un crecimiento de 6.9% con respecto al año anterior, siendo el 70% leche líquida, 13% leche en polvo y 10.7% saborizada. El líder de este grupo es Lala con 30%, seguido de Alpura con 19.5% y Liconsa con 6.1%. La marca AdeS, de Coca Cola, tiene una participación importante en este grupo (2.1%), aunque no es un producto lácteo, sino de soya, pero compite dentro de este segmento con diferentes sabores.

En el rubro de quesos, el valor del mercado fue de 73,367 millones de pesos en el 2020 donde el 93% del consumo es de queso sin procesar, y al igual que la leche y otros productos, la mayor parte (99%) se distribuye en tiendas

de distintas características, aunque predomina su distribución en pequeñas tiendas independientes (42.5%). En este grupo la mezcla de participantes y el predominio está más pulverizado, aunque la mexicana Sigma Alimentos tenía el 15.4% del mercado, seguido de Grupo Lala (14.4%) y la francesa Lactalis (7.9%). Vale la pena mencionar que mientras que Lactalis y Lala son predominantemente empresas lácteas, en el caso de Sigma, el 77% de sus ingresos procede de la venta de derivados de carne (Sigma Alimentos S.A. de C.V., 2021). En términos de marcas es Nochebuena, una de las marcas premium de Sigma Alimentos, la que domina el mercado con un 11.6%, seguida de Esmeralda (7.9%) y Lala (7%). A partir de 2014 el consumo de queso ha mantenido un crecimiento sostenido que llega a un 10% anual en promedio y se pronostica que se mantenga hasta el 2025. El queso representa el segundo producto lácteo de mayor valor que se importa a México, y en 2020 alcanzó los 534 millones de dólares por un total de 113,970 toneladas, un 6% menos que en el 2019, muy probablemente a causa de la situación de la pandemia de COVID-19. Estados Unidos es el principal proveedor de queso con un 75 a 80% del total en volumen, seguido por la Unión Europea con 9 a 11%, y de Sudamérica, principalmente Uruguay y Chile, con otro 9 a 11%. El queso rallado o en polvo resulta el más comprado, con un 43% aproximadamente del volumen total.

Figura 1.3. Valor del mercado de lácteos en mdp (elaboración propia con datos de Euromonitor).



Por su parte, el valor de mercado del yogur y productos de leche agria en Mexico se estima en 33,402 millones de pesos para 2020, con un crecimiento de 7.5% con respecto al 2019, aunque se pronostica que disminuirá en los próximos años. El 59% de las ventas corresponde a yogur bebible, 30% saborizado y el resto a natural. En estos productos la proporción de venta a través de las tiendas detallistas (81.9%) es menor que en queso o bebidas lácteas, principalmente por la participación de Yakult, que tiene una fuerte penetración de mercado y por la forma de venta directa. De hecho, entre las empresas Lala, Danone y Yakult dominan 60% del mercado nacional, aunque como marca individual Yakult tiene 18.5% mientras que su competidor más cercano sería Yoplait (Sigma) con 12.4%.

En México el sector de mantequilla y otras grasas untables ha mantenido un crecimiento sostenido durante los últimos años superior a 5% anual, y para 2020 se estima que su valor será de alrededor de 16,412 millones de pesos. Sin embargo, en este segmento existe una fuerte competencia entre la mantequilla, un producto netamente lácteo, y los derivados de grasas vegetales. Es por esto que la mantequilla representa sólo el 42% de este mercado, la margarina y los untables el 26%, y las grasas para cocinar el 32%. Así entonces, no es de extrañar que la marca INCA, un producto de la empresa ACH Foods Mexico, (subsidiaria de Associated British Foods) tenga el liderazgo del segmento con 21%, con una historia desde 1950 y muy familiar en la cocina mexicana, y en seguida se encuentre mantequilla La Gloria de Cremería Americana con 14.8%, y Margarina Primavera en tercer lugar con un 8%. La figura 1.3 muestra el valor de mercado de los distintos segmentos de lácteos y su proyección hasta el 2022.

Además de los grandes rubros existen otro tipo de productos que contienen derivados lácteos a los cuales se les ha añadido algún compuesto adicional. Aunque no se consideran un lácteo como tal, la importación de algunos de estos productos influye en el mercado nacional. Estos productos se incluyen en algunas fracciones arancelarias como preparaciones alimenticias. La fracción 1901.10 abarca las fórmulas lácteas para alimentación infantil que en 2020 representó 79 millones de dólares, y las fracciones 1901.90 (03 al 05) y 2106.90.08 acumularon 108 millones de dólares (Secretaría de Economía, n.d.).

El sector lácteo ha pasado por una serie de situaciones que han condicionado su crecimiento y expansión en los distintos territorios. Los

esquemas proteccionistas de los diferentes gobiernos hacia los productores, en especial de aquellos donde la producción de leche representa una fuente de ingreso importante para el sector agrícola, se traducen en limitantes para el comercio entre los países. Los cupos, tanto para los exportadores como para importadores, son unos de estos esquemas, donde existen beneficios arancelarios dependiendo del producto y el origen o destinos de la mercancía, aunque sólo para un monto específico (Servicio Nacional de Información de Comercio Exterior, n.d.). Por ejemplo, en términos de leche en polvo, existe un cupo para los miembros de la Organización Mundial de Comercio de 80 mil toneladas al año, de las cuales el 50% es para Liconsa, 45% para empresas con antecedentes de haber importado antes y que utilicen la leche como insumo. Los tratados comerciales establecen las condiciones en las cuales determinados productos podrán ser intercambiados, en particular donde exista una demanda específica. Es por esto que por ejemplo, el Tratado Integral y Progresista de Asociación Transpacífico (TIPAT) o Tratado Asia Pacífico, ha definido cupos para la leche, mantequilla y quesos, donde el interés surge de que Nueva Zelanda y Australia son participantes en el tratado con una gran capacidad productiva. De la misma forma, el tratado de libre comercio con Uruguay, el sexto lugar en producción *per capita* de leche en el mundo, define cupos para la leche en polvo. Aunque no en todos los casos los cupos responden a un acuerdo, sino que se establecen de forma unilateral, como son los quesos frescos importados a México.

En otros casos, las enfermedades en los animales o el uso de ciertos productos en su crianza pueden resultar en un impedimento sanitario que restringe las alternativas de exportación. Una de las enfermedades más comunes es la fiebre aftosa, de la cual México está libre, sin embargo en 2017 ésta fue la razón para que se dejara de importar productos lácteos de Colombia, aunque no se importaban productos desde 2014 (Cornall, n.d.).

La somatotropina bovina (rbST) es uno de los compuestos utilizados por los ganaderos para lograr el aumento en la producción de leche. Sin embargo, no se tiene un consenso de la seguridad en su uso a nivel mundial, y por ello, aunque no hay una limitación en su aplicación o el comercio de los productos lácteos obtenidos de vacas tratadas con este compuesto, 56 países no han aprobado la comercialización del fármaco dentro de sus fronteras, de entre ellos la UE, Australia, Canadá y Nueva Zelanda (St-Pierre, n.d.). Este hecho ha sido aprovechado por algunos productores para comercializar sus

productos bajo la leyenda de “libre de rbST”, en especial en los mercados donde existe una tendencia hacia lo natural.

Las condiciones de calidad que se establecen en los diferentes destinos pueden derivar en costos adicionales para los exportadores, en especial cuando los estándares no son los mismos, lo cual implica una medida no arancelaria que limita el comercio. Esto ocurre en Rusia, donde los límites aceptados de metales pesados en alimentos son menores que en la Unión Europea, lo cual agrega una restricción adicional (Mingque & Slisava, 2016). Algunas de estas barreras incluyen temas como controles de importación, estándares de calidad, sanidad, documentación, trámites aduaneros, e impedimentos políticos relacionados con la forma como se comercializan los productos dentro del país de destino.

1.4 Tendencias de mercado en productos lácteos

La pandemia de COVID-19 ha afectado el comportamiento del consumidor en todo el mundo tanto en la forma de adquirir los comestibles como en el tipo que prefiere. Los descubrimientos sobre los factores que aumentan el riesgo de complicaciones para las personas con COVID, en particular hipertensión, diabetes e hiperlipidemia, provocó un cambio de hábitos tanto en la alimentación como en la actividad física. El confinamiento vino a potencializar este hecho, ya que en muchos países no fue posible salir a la calle, con lo cual muchos consumidores tuvieron que buscar opciones para obtener alimentos y hacer ejercicio en el espacio de su hogar. Las cocinas de las casas se utilizaron con mayor frecuencia, y la información sobre alimentación, entre otra, fluyó con mayor intensidad a través de los medios electrónicos.

El tema de sanidad se convirtió en una regla para todos los espacios de elaboración y distribución de alimentos, incrementando el énfasis en la necesidad de mantener una vigilancia en el manejo de estos productos. La utilización de desinfectantes para manos y superficies, las barreras físicas, el muestreo de temperatura, el equipo adicional para la protección de las personas, fueron sólo algunos de los procedimientos que se agregaron a los procesos ya existentes, desalentando la incursión a espacios restringidos para algunos de los compradores y fomentando la adquisición a través de sitios en línea, o el uso de aplicaciones en teléfonos celulares (Boumphrey, 2020).

El impacto de la enfermedad en el medio ambiente, tanto positivo como negativo, ha derivado en una mayor actividad de los grupos ambientalistas que afectan en temas de producción de alimentos. La disposición de los plásticos utilizados en el combate a la enfermedad ha puesto mayor énfasis en el tipo de empaques utilizados para empacar la comida. Del mismo modo, la protección de fauna silvestre, el uso de agua, el cambio climático y la huella de carbono han sido temas que han recibido mayor promoción en los medios, afectando la percepción del consumidor hacia la parte de la cadena productiva más sensible a este aspecto, las granjas lecheras. Y aunque la percepción no es la misma en todas las regiones del mundo, existe un segmento de la población que estaría dispuesto a dejar de tomar leche en favor del medio ambiente.

En general, la percepción sobre la leche y los productos lácteos como producto sano sigue siendo favorable entre los consumidores. Una encuesta elaborada por la firma McKinsey entre estadounidenses en octubre de 2020 reveló que aunque la mayoría (70%) seguiría comprando el mismo nivel de productos lácteos después de la pandemia que antes, y un 20% compraría una mayor cantidad de yogurt y queso. Dentro de los resultados se destaca el hecho de que la elección a futuro de los productos estaría influenciada, al menos en parte, por la búsqueda de productos considerados saludables, de aquí que productos como los helados tendrían una menor demanda. En el mismo estudio se destaca la búsqueda de nuevos productos y la disposición para probar alternativas. De la ansiedad derivada por las distintas condiciones de la crisis surge además la necesidad de unir la tendencia de bienestar físico a un estado mental saludable (Euromonitor International, 2021), de ahí que se crearan espacios para nuevos alimentos funcionales con reivindicaciones innovadoras que alienten la indulgencia sin culpa, donde cada grupo de edad buscará soluciones particulares.

Los productos saludables y naturales, libres de químicos, son una constante que ha venido dándose desde años atrás y que por motivos de la crisis recibió un nuevo empuje. En particular aquellos productos que promuevan un beneficio a las condiciones de salud y comorbilidades afectadas por el COVID-19, de modo que los alimentos funcionales recibirían particular atención, donde de acuerdo con el Institute of Food Technologists (Sloan, 2021), los productos fermentados estarían a la cabeza de la lista. El uso de microorganismos de calidad que modifiquen la textura o el sabor

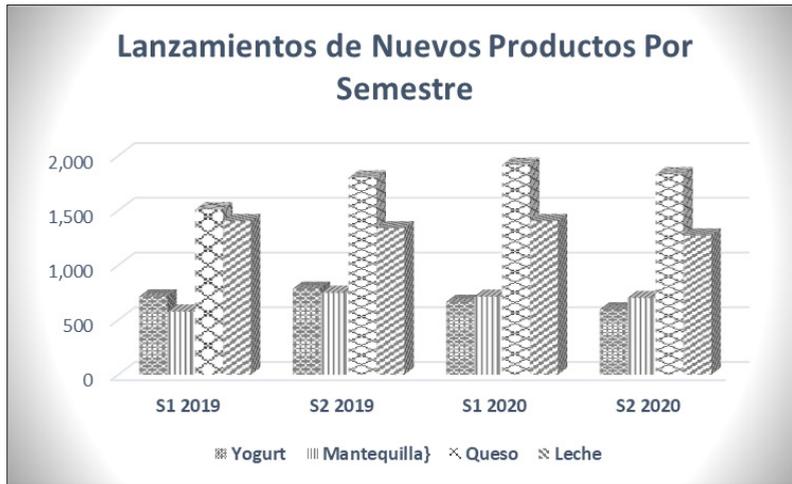
es una de las tendencias más notables en Asia (Mintel Group Ltd, 2021)

De acuerdo con Mintel, en los productos de leche para niños a nivel mundial en el 2020, la elección de los padres incluyó productos fortificados y naturales, sin detrimento de las etiquetas limpias que demostraran honestidad del fabricante en su elaboración, el impacto al medio ambiente y de la conveniencia en la utilización de los mismos, de hecho en algunos países este factor es crucial al momento de elegir un producto para este segmento, de ahí que cosas como sobres, bolsas resellables resulten populares.

Las tendencias no sólo incluyen el marketing o las preferencias del consumidor, sino también la realización de cambios en la estructura de conformación de los mercados internos que genere una mayor competitividad de las empresas. Por poner un ejemplo, Nueva Zelanda desreguló, en 2001, la posibilidad de que las tres mayores cooperativas se amalgamaran en una sola, librando la legislación anti-monopolio de su misma oficina de comercio, para conseguir eficiencias de escala en el acopio y procesamiento de leche y competir en los mercados internacionales (TBD Advisory, 2020). La empresa generada, Fonterra, acopiaría el 96% de la leche cruda producida en el país. Para aumentar la competitividad el gobierno establecería también parámetros de eficiencia que debía cumplir, así como una serie de condicionantes adicionales. El resultado de la estrategia del gobierno permitió que nuevas empresas entraran a competir en la exportación, incentivando a innovar en los productos y los procesos. El volumen de leche aumentó y los precios promedio también lo hicieron, sin perjuicio del mercado interno.

El aumento en el consumo de productos con una mayor cantidad de proteínas incluye también a los lácteos, particularmente la leche y el yogurt, a pesar de que parte de este segmento tiende hacia el consumo de proteínas no animales. Según un estudio de la International Food Information Council (IFIC) los consumidores de yogurt que eligen el producto por su valor nutrimental, que es el 37%, toman la decisión principalmente (39%) por su contenido de proteína (International Food Information Council, 2021). En el caso de la leche, el crecimiento de la población que padece intolerancia a la lactosa ha permitido introducir alternativas de productos deslactosados utilizando ultrafiltración, lo cual ofrece un producto con mayor contenido de proteína y menos azúcar (Daily Dairy Report, 2020).

Figura 1.4. Lanzamiento de nuevos productos en los principales países de América por segmento (elaboración propia con datos de Mintel).



En lo que respecta específicamente a lácteos en general, la tendencia que venía desarrollándose hasta el 2019 se vio afectada por la pandemia en términos del lanzamiento de productos nuevos (Mintel Group Ltd., n.d.). En la figura 1.4 se muestra el lanzamiento de nuevos productos por cada segmento durante los semestres de 2019 y de 2020 para el continente americano. En América, aquellos productos que incluyen leche como ingrediente, en el primer semestre de 2020 estuvieron al mismo nivel que en el 2019, sin embargo, el segundo semestre tuvo un descenso de 5% contra el 2019 y de 9% contra el mismo año. La categoría que representó una tercera parte de los nuevos lanzamientos, que es la de confitería, tuvo una disminución del 12% contra el mismo periodo del año anterior, al igual que la categoría de lácteos. Las salsas y los sazonzadores, que sólo representan entre el 1 y el 3 por ciento de los productos nuevos, incrementaron sus lanzamientos en más de 150%. Por otro lado, en las reivindicaciones en los productos con leche para los mercados americanos, la categoría principal, que es libre de alérgenos, mantuvo su participación. Mientras que las relacionadas con temas como kosher, sin gluten o fortificada, incrementaron su difusión entre 2 y 5%. La participación en redes sociales mantiene un avance sostenido pese a la pandemia. En México los nuevos productos enfatizan el más o el menos en

sus contenidos, es decir, la incorporación o reducción de compuestos que pueden ser favorables o nocivos para la salud,

El grupo de alimentos que utiliza queso como ingrediente también tuvo un impacto negativo (-4.5%) en nuevos lanzamientos en el segundo semestre de 2020, respecto al primer semestre, sin embargo, en general, hubo un incremento de 13% respecto al 2019, donde la mayor parte se dio en el grupo de lácteos, es decir, donde el queso es también el producto, e incorporado a alimentos listos para comer con predominio de proteína, además de ser el producto lácteo que más introduce novedades al mercado. Respecto a las reivindicaciones, a nivel continente, la mayor parte menciona la reducción, o ausencia de alérgenos, o el hecho de no contener gluten. Aunque el mayor incremento lo tuvo la nota de no contener hormonas, que tuvo un aumento en la mención de un 66% en 2020 con respecto al 2019. Mientras tanto el menor énfasis se llevó a cabo en redes sociales y el hecho de no contener conservadores artificiales, principalmente por el segmento de mercado al que el producto va dirigido. En su mayoría, los nuevos lanzamientos están relacionados con un rediseño del empaque principalmente para ajustarlo a las tendencias. En México, sólo hubo 20 productos que fueran totalmente nuevos al mercado (Mintel Group Ltd, 2021) donde la intención de sus reivindicaciones era de diferenciación para colocarse en el gusto del consumidor.

El yogurt, dentro de los productos lácteos de mayor volumen, quizá fue el más afectado por la pandemia en términos de productos nuevos, ya que durante el 2020 se redujeron los lanzamientos en casi 17%. En gran medida se debe a que, a diferencia del queso o la leche, no tiene una diversificación amplia fuera del grupo de los lácteos, pues el 85 y 89% de las novedades se concentra en este grupo. Aunque las reivindicaciones han mantenido su proporción en los nuevos productos, en mayor o menor medida, los cambios han sido de 2 o 3% , los que menos énfasis han visto se refiere a los que son bajos en grasa, sin conservadores, o sin transgénicos, pues los mercados van dando estas condiciones como obligadas. En México el contenido sin alérgenos, reducido en grasa o lactosa, es donde se concentran los nuevos lanzamientos, aunque sólo el 16% de ellos son realmente nuevos, en el resto, el empaque ha sido el mayor cambio.

En el segmento de la mantequilla, ésta compite con otros productos

que no son lácteos, como son las grasas derivadas de algunos frutos como el cacahuete, la avellana o almendra, en un segmento de untables dulces, bocadillos y confitería de chocolate. Esta circunstancia hace que en este segmento la reivindicación de kosher represente el mayor número, aunque aquellas que mencionan la ausencia de alérgenos, gluten o transgénicos son las que han tenido un mayor incremento en los últimos dos años.

1.5 Conclusiones

El hecho de que los productos lácteos estén arraigados en la cultura del mexicano, y de muchos países del mundo, da la oportunidad a que los consumidores estén dispuestos a probar alternativas que vayan de acuerdo a su percepción de lo que es saludable y que complazca a su paladar. Una estrategia de distribución adecuada, como lo fue para Yakult en su momento, demuestra que el consumidor estaría dispuesto a probar un producto con el cual no está familiarizado, pero que le ofrece resolver una necesidad. La utilización de diferentes canales de distribución para productos similares representa una oportunidad para los pequeños productores, de coexistir con las grandes marcas en varios de ellos. Cuando en los mercados dominan grandes industrias siempre es posible acceder a nichos específicos donde a éstas les resulta poco atractivo incursionar.

Un ejemplo en la búsqueda de llegar a los distintos segmentos del mercado, es la oferta de versiones de leche líquida por parte de Grupo Lala, que para enfrentar la competencia de otros grupos y con una estrategia de diferenciación hacia un consumidor de alta gama, han desarrollado un abanico amplio de presentaciones tanto en empaques, tamaños, sabores o contenidos, llegando a tener 67 productos distintos sólo en este ramo.

Es claro que el acceso a la tecnología permite a los productores diferenciarse de otros en su oferta, aunque el éxito en la comercialización debe incluir el conocimiento de las expectativas del consumidor, lo que lo motiva y busca la forma de resolver sus necesidades. Uno de los factores que más peso tendrán en la elección de un producto en los próximos años, y que ha sido enfatizado por la pandemia de COVID-19, es la necesidad de un estilo de vida sano, modificando la visión hacia la forma en que los productos alimenticios contribuyen a lograrlo, mientras que, por otro lado,

se han acelerado las formas en que el producto puede darse a conocer y llegar al consumidor.

Es posible para los productores mexicanos aspirar a mercados en el extranjero con alternativas especializadas dirigidas a mercados de nicho, sin embargo, para que esto pueda ocurrir tendrán que vencer algunas de las limitantes y barreras existentes, no sólo en términos de logística, sino también en el cuidado hacia la calidad y condiciones sanitarias del producto, cumpliendo las regulaciones necesarias, aunque en México también podrían encontrar los nichos necesarios que aún no son atendidos por las grandes empresas.

1.6 Bibliografía

- Adams, C., Lieberman, M., Maluf, I., & Uchoa de Paula, R. (n.d.). *How the COVID-19 pandemic has changed dairy preferences among US consumers* | McKinsey. Retrieved June 24, 2021, from <https://www.mckinsey.com/industries/agriculture/our-insights/how-the-covid-19-pandemic-has-changed-dairy-preferences-among-us-consumers#>
- Alonso Pesado, F. A., & Rodríguez de Jesús, E. (2019). *Oferta y Estructura del Sistema de Leche en México* - BM Editores. <https://bmeditores.mx/secciones-especiales/oferta-y-estructura-del-sistema-de-leche-en-mexico-2554/>
- American Dairy Products Institute. (2014). *Algeria Milk Powder Import Outlook*. <https://www.adpi.org/News/News/TabId/74/ArtMID/1672/ArticleID/2835/Algeria-Milk-Powder-Import-Outlook.aspx>
- Ang, P. (2021). *Report Number : Report Name : Dairy and Products Annual Report Category : Dairy and Products Prepared By : Approved By : Morgan Haas Report Highlights :*
- Boumphrey, S. (2020). How will consumer markets evolve after Coronavirus? In *Euromonitor International*.
- Bowling, G. A. (1942). The Introduction of Cattle into Colonial North America. *Journal of Dairy Science*, 25(2), 129–154. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(42\)95275-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(42)95275-5)
- Cámara de la Industria Alimenticia de Jalisco. (2011). *El Andar de la Industria Alimenticia en Jalisco*.
- CANILEC. (2021). *Estadísticas del Sector Lácteo 2010-2020*.
- CANILEC. (2021). Determinantes del mercado mexicano de los lácteos -¿Cómo se comportó el sector lácteo en 2020? *Lacticinios*, 5–11.
- CEDRSSA. (2019). *Situación de la Ganadería Lechera en el Sureste de México*.
- Centers for Disease and Control Prevention. (2021). *Underlying Medical Conditions for Clinicians*. <https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-ncov/hcp/clinical-care/underlyingconditions.html>
- Cerutti Pignat, M., & Rivas Sada, E. (2008). *La Construcción de La Cuenca Lechera En La Laguna (1948-1975)*, 16(31), 165–204.
- Cornall, J. (n.d.). *Mexico stops import of Colombian dairy products*. Retrieved June 22, 2021, from <https://www.dairyreporter.com/>

- Article/2017/07/18/Mexico-stops-import-of-Colombian-dairy-products
- Daily Dairy Report. (2020). *Lactose-Free Milk Sales Soar*. <https://dailydairyreport.com/samples/DDR052920.pdf>
- Dairy UK. (n.d.). Dairy UK - *The voice of the UK dairy industry*. Retrieved June 17, 2021, from <https://www.dairyuk.org/>
- Euromonitor International. (n.d.). *Home | Passport*. Retrieved June 15, 2021, from <https://www-portal-euromonitor-com/portal/magazine/homemain>
- FAO. (2005). *Developing Countries and the Global Dairy Sector Part I Global Overview*, Pro-poor Livestock Policy. 30.
- FAO. (2020). Food Outlook – Biannual Report on Global Food Markets. In Food Outlook – Biannual Report on Global Food Markets. FAO.
- FAO. (2021). *Dairy market review*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, April, 1–13.
- FAO. (n.d.). FAOSTAT. Retrieved June 17, 2021, from <http://www.fao.org/faostat/es/#data>
- FAO. (2018). *Milk Facts*. [Www.Fao.Org/Agriculture/Dairy-Gateway](http://www.fao.org/Agriculture/Dairy-Gateway), May, 1. [Www.Fao.Org/Agriculture/Dairy-Gateway%5Cnhttp://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/en/](http://www.fao.org/agriculture/dairy-gateway/en/);
- FAO. (2020). *Food Outlook - Biannual Report on Global Food Markets (Issue November)*. <http://www.fao.org/docrep/013/al969e/al969e00.pdf>
- FAO, GDP, & IFCN. (2020). Dairy's Impact on Reducing Global Hunger. In Dairy's Impact on Reducing Global Hunger. <http://www.fao.org/3/cb1198en/CB1198EN.pdf%0Ahttp://www.fao.org/3/ca7500en/CA7500EN.pdf>
- Food (Policy) For Thought. (2014). *The History of Raw Milk and Pasteurization – Food (Policy) For Thought*. <http://foodpolicyforthought.com/2014/05/06/the-history-of-raw-milk-and-pasteurization/>
- Foreign Agricultural Service, U. (n.d.). Federal Register :: Dairy Tariff-Rate Quota Import Licensing Program. Retrieved June 22, 2021, from <https://www.federalregister.gov/documents/2015/07/27/2015-18122/dairy-tariff-rate-quota-import-licensing-program#sectno-reference-6.22>
- Gaona-Pineda, E. B., Martínez-Tapia, B., Arango-Angarita, A., Valenzuela-Bravo, D., Gómez-Acosta, L. M., Shamah-Levy, T., & Rodríguez-Ramírez, S. (2018). *Consumo de grupos de alimentos y factores*

- sociodemográficos en población mexicana*. Salud Pública de México, 60(3, may-jun), 272. <https://doi.org/10.21149/8803>
- Government of Canada. (n.d.). Customized report service – Powdered milk in Malaysia - Agriculture and Agri-Food Canada (AAFC). Retrieved June 15, 2021, from <https://www.agr.gc.ca/eng/international-trade/market-intelligence/reports/customized-report-service-powdered-milk-in-malaysia/?id=1545059889934>
- Grupo Danone. (n.d.). Grupo Danone México | *Historia*. Retrieved June 30, 2021, from <https://grupodanone.com.mx/conocenos/historia.aspx>
- Grupo Lala S.A. de C.V. (n.d.). Lala. Retrieved June 17, 2021, from <https://www.lala.com.mx/>
- Gutierrez Hernández, A., Marcos Charur, E., & Sánchez Fernández, J. (2019). [411000-AR] *Datos generales - Reporte Anual*. 1, 13, 48, 113. https://www.arcacontal.com/media/360127/reporte_anual_acbe_2019_vf.pdf
- Huizen, J. (2021). *How has COVID-19 influenced the environment?* <https://www.medicalnewstoday.com/articles/how-covid-19-has-changed-the-face-of-the-natural-world#Wildlife-and-COVID-19:-The-bad>
- IFCN Dairy Network. (2014). *IFCN Dairy Report Chapter 2- Global Dairy Sector: Status and Trends*. 16–29. https://www.verantwoordeveehouderij.nl/upload_mm/7/e/e/5453701c-d838-46fc-9bfa-278ce11af84a_Dairy-Map-2015_final.pdf
- International Food Information Council. (2021). *Understanding Dairy Consumers' Purchasing Behaviors and Habits*. <https://foodinsight.org/wp-content/uploads/2021/06/IFIC-Yogurt-Consumers-Survey.pdf>
- Indian Dairy Association. (n.d.). *Indian Dairy Association*. Retrieved June 17, 2021, from <http://indairyasso.org/>
- Innovation Center for U.S. Dairy. (2019). 2018 U.S. *Diary Sustainability Report*.
- Kasriel, E. (2020). *Can dairy adapt to climate change?* - BBC Future. <https://www.bbc.com/future/article/20201208-climate-change-can-dairy-farming-become-sustainable>
- Keck, F. (2009). *The Contaminated Milk Affair*. China Perspectives, 2009(1), 88–93. <https://doi.org/10.4000/chinaperspectives.4780>
- Lempert, P. (2020). *Food Trends Forecast 2021: Being Healthy In A Post Covid-19 World*. <https://www.forbes.com/sites/>

- phillempert/2020/10/19/food-trends-2021-staying-healthy-in-a-post-covid-19-world/?sh=44efa555485b
- Lockhart, B. B., Schulz, P., Serr, C., & Lindsey, B. (2007). *The Dating Game* : Thatcher Glass Mfg . Co . Bottles and Extras, August, 2–14.
- Marinova, D., & Bogueva, D. (n.d.). *Which “milk” is best for the environment? We compared dairy, nut, soy, hemp and grain milks.* Retrieved June 24, 2021, from <https://theconversation.com/which-milk-is-best-for-the-environment-we-compared-dairy-nut-soy-hemp-and-grain-milks-147660>
- Martínez Borrego, E. (2009). *La lechería en el Estado de México: Sistema productivo, cambio tecnológico y pequeños productores familiares en la región de Jilotepec.*
- Martinez-Stone, C. M. (2002). *Evaluación económica e inversión (sobre un condominio horizontal en la delegación Álvaro Obregón)* (Issue Antecedente Historicos). <http://www.economia.unam.mx/secss/docs/tesisfe/MartinezSCM/tesis.html>
- Mingque, Y., & Slisava, A. (2016). *Impact of Russian Non-Tariff Measures on European Union Agricultural Exports.* International Journal of Economics and Finance, 8(5). <https://doi.org/10.5539/ijef.v8n5p39>
- Mintel Group Ltd. (n.d.). *Mintel Portal | Welcome.* Retrieved June 21, 2021, from <https://portal.mintel.com/portal/>
- Mueller, N. (2020). *5 Changing 2020 Food Trends Due to COVID-19.* https://www.grandecig.com/blog/food_trend_fails
- National Dairy Development Board. (2019). *Annual Report 2018-19.* National Dairy Development Board. In *Annual Report*. http://www.nddb.org/sites/default/files/NDDDB_AR_2015-16Eng.pdf
- Ndambi, A., van der Lee, J., Endalemaw, T., Yigrem, S., Tefera, T., & Andeweg, K. (2017). *Four important facts on opportunities in the Ethiopian dairy sector. Practice Brief DairyBISS Project.* Wageningen Livestock Research, Wageningen University & Research, Wageningen, August.
- OECD-FAO. (2020). Chapter 7 - *Dairy and dairy products.* In *OECD-FAO Agricultural Outlook 2020-2029* (pp. 175–183). <http://www.agri-outlook.org/commodities/oecd-fao-agricultural-outlook-dairy.pdf>
- Otenio, M. (Embrapa-G. de L., de Paula, V. (Embrapa-G. de L., & Arcuri, P. (Embrapa-G. de L. (2018). *Brazil: Biogas promotes agricultural sustainability. Dairy Sustainability Outlook, December, 7.*

- Outlaw, J., & Nicholson, C. (1994). *An Overview of the Mexican Dairy Sector*. M, 14. <https://dairymarkets.org/pubPod/pubs/M14.pdf>
- Pasteurizadora De Los Productores De Leche S. A. de C.V. (n.d.). *Leche Zaragoza*. Retrieved June 17, 2021, from <http://www.lechezaragoza.com/>
- Phelan, S. (2021). *4 key areas “in hands of dairy farmers” to reduce emissions* - Agriland.ie. <https://www.agriland.ie/farming-news/4-key-areas-in-hands-of-dairy-farmers-to-reduce-emissions/>
- Pokrivcak, J., van Berkum, S., Drgova, L., Mraz, M., & Ciaian, P. (2013). *The role of non-tariff measures in EU dairy trade with Russia*. *Post-Communist Economies*, 25(2), 175–189. <https://doi.org/10.1080/14631377.2013.787737>
- Qingbin, W. A. N. G., LIU, C. quan, ZHAO, Y. feng, KITSOS, A., CANNELLA, M., WANG, S. kun, & HAN, L. (2020). Impacts of the COVID-19 pandemic on the dairy industry: Lessons from China and the United States and policy implications. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(12), 2903–2915. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63443-8](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63443-8)
- Raw Milk Institute. (2020). *Raw Milk History — Latest Research and Updates — Raw Milk Institute*. <https://www.rawmilk institute.org/updates/category/Raw+Milk+History>
- Rivera Domarco, J., López Omledo, N., Aburto Soto, T., Pedraza Zamora, L., & Sánchez Pimienta, T. (2014). *Consumo de productos lácteos en población Mexicana*. Resultados de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012.
- Rume, T., & Islam, S. M. D. U. (2020). Environmental effects of COVID-19 pandemic and potential strategies of sustainability. In *Heliyon* (Vol. 6, Issue 9, p. e04965). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04965>
- Sallyards, M., Kuypers, K., & Lara, G. (2019). *Mexico Dairy and Products Semi-annual High Demand Drives Greater Cheese Production and Imports*. 1–11.
- Secretaría de Economía. (n.d.). *Sistema de Información Arancelaria Via Internet*. Retrieved June 7, 2021, from <http://www.economia-snci.gob.mx/index3.php>

- Secretaría del Bienestar. (n.d.). *El Programa de Abasto Social de Leche cumple 73 años*. Retrieved June 17, 2021, from <https://www.gob.mx/bienestar/es/articulos/el-programa-de-abasto-social-de-leche-cumple-73-anos>
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (n.d.). Datos Abiertos. Retrieved June 17, 2021, from http://infosiap.siap.gob.mx/gobmx/datosAbiertos_p.php
- Servicio Nacional de Información de Comercio Exterior. (n.d.). Información General. Retrieved June 22, 2021, from <https://www.snice.gob.mx/cs/avi/snice/cuposinfogeneral.html>
- Sigma Alimentos S.A. de C.V. (2021). Estados financieros consolidados al y por los años terminados el 31 de diciembre de 2020 y 2019.
- Sloan, E. (2021). Top 10 Food Trends of 2021 - IFT.org. Food Technology Magazine. <https://www.ift.org/news-and-publications/food-technology-magazine/issues/2021/april/features/top-10-food-trends-of-2021>
- St-Pierre, N. (n.d.). rbST Safety Around the World | Ohio Dairy Industry Resources Center. Retrieved June 23, 2021, from <https://dairy.osu.edu/newsletter/buckeye-dairy-news/volume-10-issue-2/rbst-safety-around-world>
- Suarez, G. (2004, September 3). Una empresa saludable. Mural, 4A.
- Taylor, D. (1976). The English Dairy Industry, 1860–1930. *The Economic History Review*, 29(4), 585–601. <https://doi.org/10.1111/j.1468-0289.1976.tb01107.x>
- TBD Advisory. (2018). *New Zealand Dairy Companies Review*. April, 1–38.
- TBD Advisory. (2020). *The Dairy Sector in New Zealand: Extending the Boundaries*. In *Tdb Advisory* (Issue October).
- The Kraft Heinz Company. (2021). *Kraft Heinz Annual Report 2020*. In US-SEC.
- United Nations. (n.d.). Download trade data | UN Comtrade: International Trade Statistics. Retrieved June 17, 2021, from <https://comtrade.un.org/data/>
- US Dairy. (n.d.). History | U.S. Dairy. Retrieved June 15, 2021, from <https://www.usdairy.com/about-us/dmi/history>
- Villegas de Gante, A., & Huerta Benítez, R. (2015). Naturaleza, evolución, contrastes e implicaciones de las imitaciones de quesos mexicanos genuinos. *Estudios Sociales*, 23(45), 213–236.

Capítulo 2

Hábitos de consumo y características socioeconómicas del consumidor mexicano de productos lácteos

*Villanueva-Rodríguez, Socorro J.¹
García-Barrón, Sergio E.²*

2.1 Introducción.

En esencia, el consumo de alimentos obedece a complejos mecanismos fisiológicos y cognitivos que se encuentran a la base de la formación de los hábitos de consumo (Kringelbach, 2015). Es decir, por un lado, la necesidad de alimentarse para vivir y, por otro lado, la sensación de agrado que provocan los componentes de un alimento, así como aspectos del orden psico-social como la convivencia social, el contexto en que se da, mientras se consumen alimentos en compañía de un grupo de personas, es una motivación muy común (Mela, 2006; Rozin, 1997); otras motivaciones, se originan por diversas creencias relacionadas con la manera de relacionarnos con nuestro entorno o bien por el hecho de pertenecer a un grupo social determinado y con los beneficios que ello conlleva, además de otras motivaciones generadas por los diferentes formas de vida. Estas necesidades (fisiológicas, sociales o cognitivas) se forman a lo largo de la vida, como resultado de las diferentes experiencias y vivencias del ser humano, lo que contribuye a la conformación de “hábitos” de consumo de alimentos y bebidas. Otro factor que contribuye a la formación de hábitos, es el aspecto económico, la disponibilidad de recursos económicos impacta de manera significativa

¹ Tecnología Alimentaria. Sede Normalistas. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ). Av. Normalistas 800, Colinas de la Normal, C.P. 44270. Guadalajara, Jalisco, México. svillanueva@ciatej.mx.

² Tecnología Alimentaria. Sede Normalistas. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ). Av. Normalistas 800, Colinas de la Normal, C.P. 44270. Guadalajara, Jalisco, México. segarcia@ciatej.mx.

en estos hábitos de consumo, la gente come lo que puede comprar (Alessie & Lusardi, 1997). Independientemente de los aspectos ya mencionados, la disponibilidad y el tipo de materias primas disponibles en las diferentes regiones, que también determinan los hábitos de consumo, se ingiere lo que se tiene disponible. Así mismo, la diversidad de materias primas incide en la diversidad de gastronomías que caracterizan a nuestro país. Ingerimos alimentos cuyos sabores, texturas, colores y formas nos son familiares (Nacef *et al.*, 2019). En ese sentido, en el caso de los lácteos, en la actualidad, la mayoría de los consumidores, han perdido contacto con productos lácteos originales, el sabor de los lácteos que utilizan leche o mantequilla, ya no es muy familiar y en algunos casos, constituye un motivo de rechazo. La masificación, la industrialización y abaratamiento de los productos lácteos, el uso de sustitutos y/o extensores de la leche, ha propiciado poco a poco un cambio en el gusto de los consumidores. Un ejemplo de ello, se puede reflejar en la disminución en el gusto por los quesos elaborados con leche considerados como fuertes. Poco a poco, se ha ido olvidando y se han dejado de producir productos ligados a diferentes regiones de un país, los cuales siguen una forma particular de elaborarse, además de usar ingredientes propios de esas regiones, los cuales han sido sustituidos por productos industrializados. En ese sentido, el objetivo de la encuesta realizada en este estudio fue iniciar la exploración del consumo de lácteos, al mismo tiempo, identificar si se manifestó algún comportamiento extraordinario con respecto a la elección y consumo de estos productos en tiempos de la pandemia³, para posteriormente ampliar el estudio y profundizar en el concepto que los mexicanos tienen sobre los productos lácteos, cuáles son los lácteos con los que están más familiarizados, con el fin de contar con información que permita entender qué acciones pueden realizarse a todos los niveles, no sólo científicos y tecnológicos, sino informativos o educativos en aspectos nutricionales, los que pueden involucrar la recuperación de productos lácteos regionales que podrían impulsarse y generar oportunidades de desarrollo para comunidades de pequeños productores de leche, así como también abrir oportunidades para el consumo de lácteos como elemento de alto valor nutricional, al igual que otros productos con propiedades biofuncionales como el jocoque y los quesos madurados, donde la microbiota presente podría representar una fuente de elementos probióticos, entre otros componentes.

³ La encuesta que se reportan en este estudio se realizó en el año de inicio de la pandemia (2020).

2.2 Metodología

2.2.1 *Diseño de encuesta*

En la realización de este estudio, se diseñó una encuesta que comprendió cuatro secciones. La primera sección se orientó a la recopilación de los conceptos que los participantes asocian al término “producto lácteo”. Para ello, se utilizó la asociación de palabras, la cual es una técnica proyectiva cualitativa, orientada a evaluar las estructuras conceptuales, creencias, actitudes y pensamientos que las personas asocian a un estímulo (Luis Guerrero *et al.*, 2010). A los participantes se les pidió que indicaran cuatro palabras que asociaran a la palabra “producto lácteo”. La segunda sección de la encuesta comprendió la recopilación de los productos lácteos que los participantes consumen con mayor frecuencia. Para ello, se les dio una lista de 17 diferentes productos lácteos, y se les pidió que indicaran cual o cuales productos eran los que consumían con mayor frecuencia. En la tercera sección, se les pidió a los participantes que indicaran los atributos que consideran como criterio de decisión al momento comprar un producto lácteo. Finalmente, la cuarta sección, se orientó a recopilar las características sociodemográficas de los participantes como sexo, edad, nivel de estudios, región de residencia, momento de consumo, lugar de compra, además del gasto mensual en productos lácteos. La encuesta se diseñó y aplicó en línea mediante el uso de la plataforma de libre acceso Google Docs.

2.2.2 *Muestreo*

La realización del muestreo se llevó a cabo mediante la técnica conocida como Bola de Nieve. Esta técnica es un muestreo del tipo no probabilístico que consiste en que los primeros participantes apoyan al encuestador, invitando a más personas a responder la encuesta, de esta forma, es posible lograr encuestar a un determinado número de participantes requeridos para cumplir con la representatividad necesaria (Szolnoki & Hoffmann, 2013).

2.2.3 *Análisis de la información*

Las características sociodemográficas de los participantes, así como el momento de consumo y gasto mensual en lácteos, se analizaron mediante el uso de la prueba de Chi-cuadrado, expresados como porcentaje. Para el análisis de la percepción del concepto “producto lácteo”, las palabras generadas

fueron revisadas y corregidas tanto ortográfica como gramaticalmente, una vez realizado este análisis, el total de palabras fueron contadas. Para el grupo de palabras con sinónimos fue seleccionado un término, utilizando un diccionario de sinónimos y antónimos; se retuvo el sinónimo mencionado con mayor frecuencia. Una vez realizado este proceso, se retuvieron sólo aquellas palabras que hubieran sido mencionadas por al menos 20 participantes. Para estimar la presencia de diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.05$), entre palabras, se empleó la Prueba de Comparación de K proporciones (método de Marascuilo). En el caso del consumo de productos lácteos y los atributos considerados como criterios de decisión, las frecuencias con que fueron señalados, se contaron y mediante la Prueba de Comparación de K proporciones, las frecuencias fueron analizadas para verificar la presencia de diferencias significativas. Todos los análisis estadísticos se llevaron a cabo con el software XLSTAT 2020 (Addinsoft, Nueva York).

2.3 Resultados

2.3.1 Características sociodemográficas y hábitos de consumo

Cuatrocientos catorce personas contestaron esta encuesta (tabla 2.1). Hubo una participación significativa de mujeres. Este resultado en particular, coincide con lo reportado por la agencia de investigación de mercado (Market-Data-México, 2021), la cual al realizar una encuesta en línea, encontró que las mujeres tienden a interesarse más en el consumo de lácteos. Los rangos de edad con mayor participación fueron los de 20-29 y 30-39 años. Al igual que en el caso del sexo, nuestros resultados en cuanto al rango de edad, coinciden con lo observado en la encuesta en línea de (Market-Data-México, 2021), ya que de acuerdo a esta agencia, el 60% de los consumidores que consumen lácteos en México tienen edades entre los 19 y 35 años, lo que coincide parcialmente con lo observado en nuestra encuesta. La mayoría de los participantes (47.3%) indicó tener estudios universitarios, seguidos de participantes con posgrado (35.3%), en cambio, el 17.4% de los encuestados indicó tener estudios no universitarios y fueron los que tuvieron una menor participación en esta encuesta. En cuanto a los hábitos de consumo, más de la mitad de los encuestados, indicaron consumir productos lácteos en el desayuno, 25.1% indicó que consume lácteos en cualquier momento, seguido de quienes los consumen en la cena (11.8%). Finalmente, sólo el

8% de los participantes, indicó consumir lácteos en la comida. En cuanto al gasto mensual en productos lácteos, el 54.6% de los encuestados indicó que gasta menos del 10% de sus ingresos en productos lácteos, el 33.3% indicó que gasta entre el 10-20% de sus ingresos, el 8.2% y 3.9% de los participantes, indicó que gasta el 20-30% y más del 30% de sus ingresos respectivamente.

Tabla 2.1 Número de participantes en función de las características socioeconómicas y hábitos de consumo (n=414).

		Número de participantes	Porcentaje*
Sexo	Hombre	150	36.2 b
	Mujer	264	63.8 a
Edad	20-29	129	31.2 a
	30-39	158	38.2 a
	50-59	44	10.6 b
	40-49	69	16.7 b
	60 años o más	14	3.4 c
Nivel de estudios	No Universitarios	72	17.4 c
	Universitarios	196	47.3 a
	Posgrado	146	35.3 b
Momento de consumo	En el desayuno	228	55.1 a
	En la comida	33	8.0 c
	En la cena	49	11.8 c
	Cualquier momento del día	104	25.1 b
Gasto aproximado por mes en productos lácteos	Menos del 10%	226	54.6 a
	10-20%	138	33.3 b
	20-30%	34	8.2 c
	Más del 30%	16	3.9 c

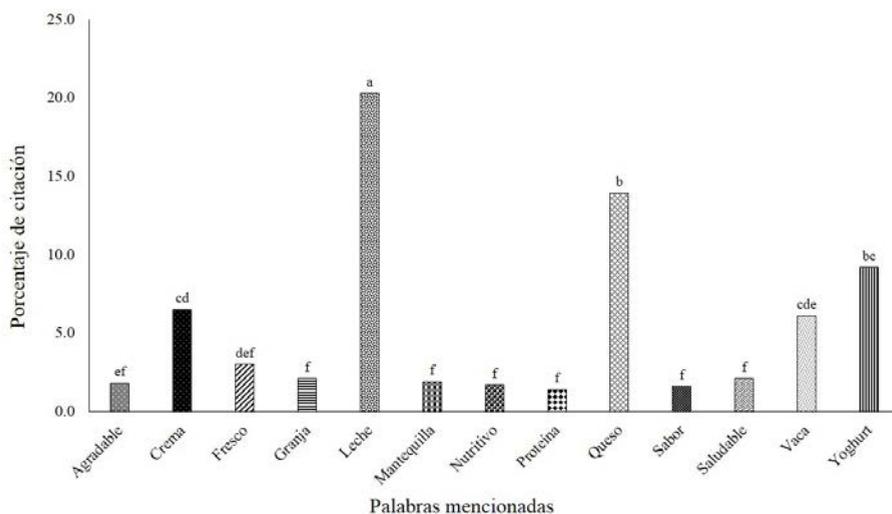
* Letras minúsculas indican diferencias significativas entre las variables de acuerdo a la prueba de K-proporciones con el método de Marascuilo ($p < 0.05$).

2.3.2 Representación del concepto “producto lácteo”

Como parte de los resultados de la asociación de palabras, se obtuvieron 1450 palabras que los participantes asociaron con el concepto “producto lácteo”, de las cuales se retuvieron 13 palabras que fueron las más frecuentemente mencionadas (figura 2.1). Las palabras que se mencionaron significativamente con mayor frecuencia fueron: leche (n= 295) y queso (n= 201). De

acuerdo con diferentes autores, la frecuencia de citación, estaría relacionada con la importancia del concepto en la mente de los consumidores, es decir, a mayor frecuencia, mayor es la importancia de ese concepto en la definición del producto que se está evaluando (Guerrero *et al.*, 2000). El hecho de que “leche” haya sido el término más frecuentemente asociado refleja, la importancia dentro de la percepción de los participantes, acerca de que es el ingrediente principal en la elaboración de los productos lácteos. Además, este resultado podría explicar por qué los lácteos, se consumen principalmente en el desayuno. En ese sentido, Lo Monaco & Guimelli (2008), señalan que la actitud y percepción hacia un alimento a menudo se relaciona con los hábitos, lo cual podría explicar la relación entre la palabra más frecuentemente mencionada (leche) y el momento de consumo (desayuno).

Figura 2.1 Palabras más frecuentemente asociadas al término “producto lácteo”. Las letras minúsculas diferentes en cada columna indican diferencia significativa entre palabras, de acuerdo con la prueba de K-proporciones ($p < 0.05$).



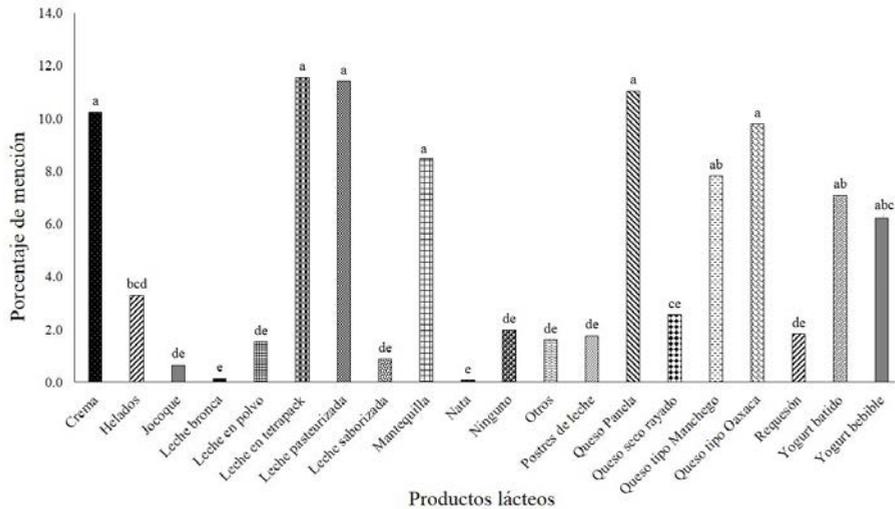
Por otro lado, este resultado en particular puede ser valioso para la industria de los lácteos, ya que la imagen que los consumidores pueden tener de un producto lácteo se vería perjudicada por alguna modificación en la proporción de leche con que fue elaborado. De manera notoria, el que la palabra “queso” haya sido mencionada significativamente en segundo lugar,

podría deberse a que el queso, después de la leche, es el producto lácteo más consumido entre los mexicanos (Mercawise, 2015). Por otro lado, entre las palabras mencionadas con menor frecuencia, se encontraron términos como “nutritivo”, “proteína” y “saludable”, los cuales podrían relacionarse claramente con la salud, lo que es de llamar la atención, ya que tomando en cuenta este resultado, para este grupo de participantes, conceptualmente hablando, la imagen que pueden tener sobre productos lácteos, no estaría relacionado con la dimensión “salud”. Con base en este resultado en particular, se requiere difundir de manera efectiva, información objetiva sobre los posibles beneficios derivados del consumo de lácteos, con el fin de promover la nutrición de la comunidad, por lo que sería necesario diseñar una estrategia de comunicación social para hacer llegar de manera eficiente este tipo de información.

2.3.3 Productos lácteos más consumidos

En cuanto a los productos lácteos significativamente más consumidos, se encontraron 6 diferentes productos (figura 2.2): crema, leche en tetrapack, leche pasteurizada, mantequilla, queso panela, queso Oaxaca.

Figura 2.2. Productos lácteos más consumidos. Las letras minúsculas diferentes en cada columna indican diferencia significativa entre palabras de acuerdo, con la prueba de K-proporciones ($p < 0.05$).

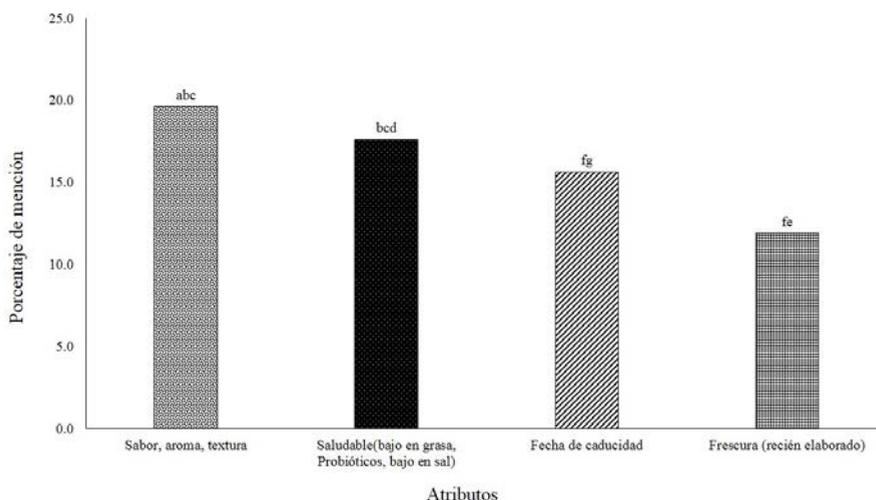


Nuestros resultados coinciden parcialmente con los resultados reportados en la encuesta realizada por la agencia de investigación de mercados Mercawise (2015), en donde se reporta que la leche es el producto lácteo más consumido, seguido del queso. A diferencia de lo encontrado en nuestro estudio, en dicha encuesta no se hace una diferenciación en cuanto al tipo de quesos que al se refieren. Por otro lado, entre los dos productos menos consumidos fueron la leche bronca y la nata. En un segundo nivel de productos poco consumidos, se encuentran el jocoque, leche en polvo, leche saborizada, postres de leche y requesón.

2.3.4 Atributos considerados como criterios de elección

Los atributos evaluados en este estudio presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$), los cuatro principales atributos considerados como criterios de selección fueron: características sensoriales, que sean saludables, fecha de caducidad y frescura. Los resultados de este estudio confirman que la selección de un alimento se basa principalmente en las características sensoriales (olor, aroma, textura, apariencia). En ese sentido, la industria de los productos lácteos, debe tener en cuenta que dichos atributos, resultan de la composición, del proceso de elaboración y de la calidad de las materias primas que, en conjunto, contribuyen a la identidad de cada producto (figura 2.3).

Figura 2.3. Atributos considerados como criterios de elección de compra. Las letras minúsculas en cada columna indican diferencia significativa entre palabras, de acuerdo con la prueba de K-proporciones ($p < 0.05$).



De forma interesante, se encontró que la información del producto, relacionada con lo “saludable”, es decir, que sea bajo en grasa, que contenga probióticos y que tenga bajo contenido en sal, tuvo el segundo nivel de importancia. De acuerdo con Grunert *et al.* (2000), los productos lácteos tienden a percibirse como productos saludables, en gran medida debido al contenido de vitaminas, proteínas, péptidos bioactivos, niveles de grasa, entre otros componentes que los productos lácteos pueden contener. Este resultado en particular sugiere que los consumidores relacionan la información sobre los productos lácteos con lo “saludable”, aún cuando conceptualmente no parece ser así. En tercer lugar, se encontró a la fecha de caducidad, el cual es un aspecto importante sobre todo cuando se trata de alimentos perecederos. Es importante mencionar, que la fecha de caducidad se refiere al periodo de tiempo en el cual un alimento puede ser almacenado antes de iniciar su deterioro y convertirse en potencialmente inseguro. La fecha de caducidad está influenciada principalmente por la calidad de la materia prima, proceso de elaboración, la forma en que es empaquetado, así como las condiciones de almacenamiento, manejo y distribución, por lo que este atributo es un aspecto de vital importancia que implica retos tanto científicos como tecnológicos en la elaboración de los lácteos. Finalmente, la frescura del producto (recién elaborado) es otro de los principales criterios al momento de elegir el producto. Al igual que en otros productos como el pan, la frescura se relaciona con que el producto sea recién elaborado, con la calidad de los ingredientes utilizados, así como de los atributos sensoriales (Bouteille *et al.*, 2013; Sajdakowska *et al.*, 2020). Por lo anterior, el que un producto lácteo sea recientemente elaborado, es un aspecto importante para que el consumidor lo adquiera, como lo sugieren los resultados obtenidos.

2.4 Conclusiones

Los resultados de la encuesta muestran que la mayoría de los encuestados, consumen algún producto lácteo en promedio al menos una vez al día. Al igual que lo observado en otros estudios, el principal producto lácteo que consume este segmento de mexicanos es la leche, seguido del queso y el yogurt. Los quesos más consumidos son el queso panela y el queso Oaxaca. Además, las características sensoriales son fundamentales para la elección de los productos lácteos. Los resultados sugieren que los participantes, que

conceptualmente, no relacionan los productos lácteos con lo saludable, sí utilizan la idea de lo nutritivo como motivo de selección e ingesta de un producto lácteo. Finalmente, este estudio exploratorio, puede ser considerado como una introducción para un estudio más amplio y profundo sobre los hábitos de consumo de los productos lácteos, ya que ello ayudará a ampliar el conocimiento sobre los hábitos de consumo, con el fin de realizar mejoras en los productos, aumentar la diversidad de aplicaciones lácteas, satisfacer eficientemente las expectativas de la población respecto a los productos lácteos. Además, ampliar la comprensión de las causas por las que consideran o no, que los productos lácteos son saludables y generar campañas educativas en nutrición. Con todo lo anterior, impulsar la economía de los pequeños productores de las cuencas lecheras del país y diversificar las opciones de productos nutritivos con base en leche.

2.5 Bibliografía

- Alessie, R., & Lusardi, A. (1997). Consumption, saving and habit formation. *Economics Letters*, 55(1), 103–108. [https://doi.org/10.1016/S0165-1765\(97\)00061-X](https://doi.org/10.1016/S0165-1765(97)00061-X)
- Bouteille, R., Cordelle, S., Laval, C., Tournier, C., Lecanu, B., This, H., & Schlich, P. (2013). *Sensory exploration of the freshness sensation in plain yoghurts and yoghurt-like products. Food Quality and Preference*, 30(2), 282–292. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2013.06.012>
- Grunert, K. G., Bech-Larsen, T., & Bredahl, L. (2000). Three issues in consumer quality perception and acceptance of dairy products. *International Dairy Journal*, 10(8), 575–584. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(00\)00085-6](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(00)00085-6)
- Guerrero, L., Colomer, Y., Guàrdia, M. D., Xicola, J., & Clotet, R. (2000). *Consumer attitude towards store brands. Food Quality and Preference*, 11(5), 387–395. [https://doi.org/10.1016/s0950-3293\(00\)00012-4](https://doi.org/10.1016/s0950-3293(00)00012-4)
- Guerrero, Luis, Claret, A., Verbeke, W., Enderli, G., Zakowska-Biemans, S., Vanhonacker, F., Issanchou, S., Sajdakowska, M., Granli, B. S., Scaldedi, L., Contel, M., & Hersleth, M. (2010). *Perception of traditional food products in six European regions using free word association. Food Quality and Preference*, 21(2), 225–233. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2009.06.003>
- Kringelbach, M. L. (2015). The pleasure of food: underlying brain mechanisms of eating and other pleasures. *Flavour*, 4(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s13411-014-0029-2>
- Lo Monaco, G., & Guimelli, C. (2008). Niveau de connaissance : le cas du vin. *Les Cahiers Internationaux de Psychologie Sociale*, 78, 35–50.
- Market-Data-México. (2021, Enero). Radiografía del mercado mexicano de leche y lácteos. *Market Data México*. https://www.marketdatamexico.com/es/article/Mercado-lacteos-MX-enero-2021?gclid=CjwKC A jw-7J6EBhBDEiwA5UUM2teBa_y6Aifq2SG lcqTLGSNw55j1Q6DVc-Vz0SfWZVtBF MSMzBXOI mhoC3N4QAvD_BwE
- Mela, D. J. (2006). Eating for pleasure or just wanting to eat? Reconsidering sensory hedonic responses as a driver of obesity. *Appetite*, 47(1), 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2006.02.006>
- Mercawise. (2015, 21 de Enero). Estudio de mercado sobre consumo de

- productos lácteos en México - Encuestas de Mercado - Mercawise. Mercawise. <https://www.mercawise.com/estudios-de-mercado-en-mexico/estudio-de-mercado-sobre-consumo-de-productos-lacteos-en-mexico>
- Nacef, M., Lelièvre-Desmas, M., Symoneaux, R., Jombart, L., Flahaut, C., & Chollet, S. (2019). Consumers' expectation and liking for cheese: Can familiarity effects resulting from regional differences be highlighted within a country? *Food Quality and Preference*, 72(February 2018), 188–197. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2018.10.004>
- Rozin, P. (1997). Why We Eat What We Eat, and Why We Worry about it. *Bulletin of the American Academy of Arts and Sciences*, 50(5), 26–48. <http://www.jstor.org/stable/3824612>
- Sajdakowska, M., Gębski, J., Guzek, D., Gutkowska, K., & Żakowska-Biemans, S. (2020). Dairy products quality from a consumer point of view: Study among Polish adults. *Nutrients*, 12(5), 1–16. <https://doi.org/10.3390/nu12051503>
- Szolnoki, G., & Hoffmann, D. (2013). Online, face-to-face and telephone surveys - Comparing different sampling methods in wine consumer research. *Wine Economics and Policy*, 2(2), 57–66. <https://doi.org/10.1016/j.wep.2013.10.001>

Capítulo 3

Procesos Industriales de leche y derivados lácteos

Espino-Sevilla Maria T.^{1}
Iñiguez-Zaragoza, Carla S.¹
Ramírez-Romo, Ernesto²
Fernández-Flores, Ofelia²
Francisco Pérez Martínez²*

3.1 Introducción

La leche es el único alimento natural cuya función es nutrir íntegramente a los mamíferos recién nacidos, por ello su composición química es completa y equilibrada, tanto en macronutrientes, proteínas, grasas y azúcar, como en micronutrientes, minerales, vitaminas y aminoácidos esenciales. Dado el interés económico que representa la leche, como producto con un valor en el mercado, la normativa nacional e internacional la definen como el producto íntegro, procedente de la ordeña, obtenida de manera higiénica, completa e ininterrumpida de las hembras de bovinos sanas y bien alimentadas, no adulterado ni alterado y libre de calostro (NMX-F-700-COFOCALEC-2004, 2004; NOM-243-SSA1-2010, 2010). Desde el punto de vista fisicoquímico, la leche se considera una emulsión del tipo grasa en agua, donde los glóbulos grasos se disponen en el seno de un líquido acuoso. En este medio acuoso encontramos diferentes componentes como azúcares, proteínas, vitaminas y aminoácidos. Paralelamente encontramos una fase sólida compuesta por proteínas complejas (básicamente caseínas), fosfatos y otras sales insolubles de calcio. Finalmente encontramos la fase lipídica, compuesta por

¹ Centro Universitario de la Ciénega, Universidad de Guadalajara, Av. Universidad, No.1115, Col. Lindavista, Ocotlán, Jalisco, México. tere9espino@yahoo.com.mx.* Corresponding author.

² Tecnología Alimentaria. Subsede Zapopan. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C., Av. Normalistas No. 800, Col. Colinas de la Normal, Guadalajara, Jalisco, México. Investigadores honorarios. tramirez@ciatej.mx; ofernandez@ciatej.mx; fperez@ciatej.mx.

triglicéridos (con presencia elevada de ácidos grasos saturados), esteroles y vitaminas liposolubles (principalmente A y D). La leche y sus derivados constituyen un grupo de alimentos que aportan principalmente lípidos y proteínas a la dieta diaria. De ella puede obtenerse una gran diversidad de productos lácteos (queso, yogur, mantequilla, crema, helados etcétera).

En el presente capítulo se describirán los procesos industriales más comunes para obtener los principales productos lácteos, se busca que el lector tenga una aproximación a un panorama real, general y básico de los procesos de la leche, así como de los productos más importantes derivados de la misma.

3.2 Leche fluída

3.2.1 Manejo higiénico de la leche en el establo

Para cumplir con la calidad establecida para la leche y otros productos lácteos se necesita cumplir con una serie de normas y lineamientos de modo que se garantice una baja carga microbiana, para ello se consideran procesos de limpieza y desinfección desde el ordeño hasta el almacenamiento de la leche. A continuación, se describe el manejo de la leche cruda (también llamada bronca), que es la materia prima de la que se derivan los productos lácteos.

3.2.2 Obtención de leche de calidad

La leche se recolecta en las rancherías o explotaciones ganaderas, considerando que la leche se obtiene de vacas sanas, libres de mastitis, condición que pudiera producir leche con alto desarrollo bacteriano adicional. Es enfriada en tanques térmicos para mantener su calidad y transportarse inmediatamente a las plantas procesadoras de productos lácteos. Para cuidar la calidad de la leche se toma en consideración la infraestructura adecuada, las buenas prácticas de manufactura y el manejo higiénico de la leche.

3.2.3 Diseño de la infraestructura de la sala de ordeña

Es recomendable contar con un sistema de ordeño con tecnología que evite adicionar aire a la leche, además de contar con un programa de mantenimiento de los equipos con el fin de evitar daños en la ubre del ganado, donde las instalaciones de la ordeña deben ser higiénicas y contar con un sistema de limpieza de equipos e instalaciones.

Para cumplir con los requisitos de higiene, se deben tener áreas especiales para el almacenamiento refrigerado de la leche, tanques de enfriamiento enchaquetados (térmicos) y agitados. En las rancherías donde se producen grandes cantidades de leche es recomendable instalar un enfriador de placas para enfriar la leche antes de que entre al tanque refrigerado, para evitar que se mezcle leche caliente con la leche ya enfriada.

3.2.4 *Buenas prácticas en la manufactura*

Las principales buenas prácticas de manufactura incluyen lavar y desinfectar con agua potable las ubres, los utensilios con los que se manipula la leche y las manos del ordeñador, ya que la limpieza disminuye la carga bacteriana y afecta positivamente la calidad de la leche, más aún, buscar cumplir con especificaciones de calidad (NMX-F-700-COFOCALEC-2004, 2004).

3.2.5 *Manejo de la leche entre la sala de ordeña y la planta procesadora*

Para conservar la leche antes de su procesamiento, debe evitarse que la leche se quede a la intemperie por mucho tiempo antes de ser recolectada. El enfriamiento es el mejor método para evitar que las cuentas de microorganismos en la leche recién ordeñada proliferen. La reducción de la temperatura de la leche se realiza a través de un enfriador de placas inmediatamente después del ordeño (o durante las dos horas posteriores a la ordeña). Debe mantenerse a 4°C hasta el momento de procesarse en la planta; para ello se almacena en un tanque con sistema de enfriamiento o se enfría con intercambiador de calor y se deposita en un tanque con aislamiento térmico. Si la cadena de frío se rompe en algún punto durante el transporte, los microorganismos en la leche comenzarán a multiplicarse en forma exponencial y afectará la calidad del producto final.

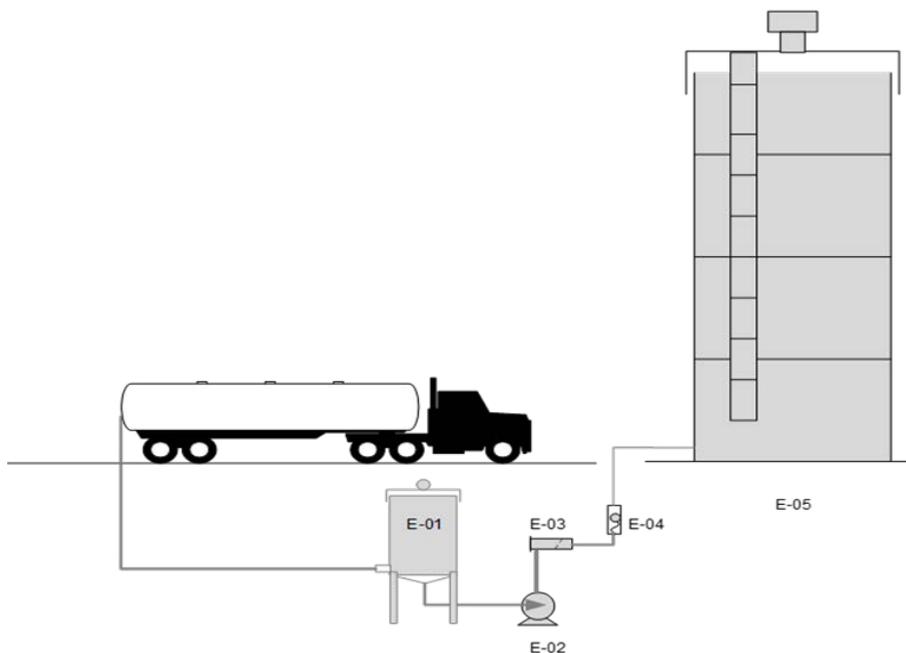
Cuando una vaca está enferma o se encuentra en tratamiento con antibióticos no se debe procesar su leche, puesto que puede acarrear problemas a la salud del consumidor. La presencia de antibióticos en la leche puede inhibir el desarrollo de las bacterias que se utilizan en la producción de yogur o de queso (Tetra Pak, 2005). Los principales problemas de salud pública inherentes al consumo de la leche bronca o mal procesada son la tuberculosis, la salmonelosis y listeriosis.

3.2.6 *Procesamiento en planta*

RECEPCIÓN DE LECHE

La leche llega en carros-tanque (pipas) a la planta procesadora y se conducen directamente al área de recepción. La mayoría de las empresas cuentan con un área grande para poder recibir varias pipas. La cantidad de leche recibida se mide ya sea por volumen o por peso. Previo a la descarga, se toma una muestra de la leche de cada productor para su evaluación fisicoquímica y microbiológica. Posteriormente se descarga a un desaireador (E-01), utilizando una bomba (E-02), para hacer pasar el flujo de la leche a través de un filtro colador (E-03) y un medidor de líquidos (E-04), para finalmente descargarse en los silos de almacenamiento de leche cruda (E-05) en donde se mantiene a 4°C hasta que sea utilizada (figura 3.1).

Figura 3.1. Sistema receptor de leche cruda (Fernández-Flores O.)

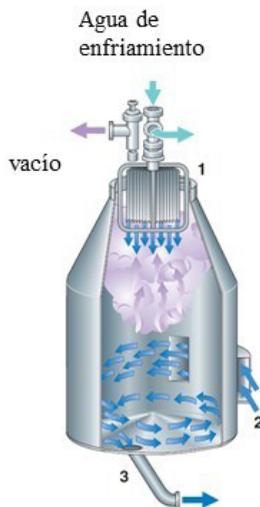


DESODORIZACIÓN

Esta operación tiene como objetivo extraer los sabores y olores no característicos originales de la leche, generados principalmente por el tipo de alimento consumido por la vaca, por áreas de ordeña insalubres o impartidos por las vacas al estar mojadas o en sitios confinados con echaderos o corrales que presentan limpieza insuficiente de estiércol.

Por otro lado, la leche contiene aire y gases disueltos que no son deseables y que pueden imprimirle un mal sabor o aroma, por lo que se recomienda removerlos a través de la desodorización a vacío. Este proceso consiste en calentar e introducir un flujo de leche en forma tangencial (2) a un tanque de expansión, ajustado a un vacío tal que provoque una evaporación súbita (flasheo) en la leche y se libere el aire y los gases no condensables; este tanque tiene un condensador en la parte superior (1) que permite recuperar la leche vaporizada para así reincorporarla al flujo principal de leche (3) (figura 3.2). Con la desodorización se evitan problemas en el procesamiento de la leche tales como mediciones volumétricas inexactas, reducción de la capacidad de descremado en la centrifuga, pérdida de precisión en la estandarización automática en línea, el incremento de la concentración de aire en la crema y la producción de incrustaciones en las superficies de calefacción en los pasteurizadores.

Figura 3.2. Funcionamiento de un desodorizador a vacío con condensador (Tetra Pak, 2005).

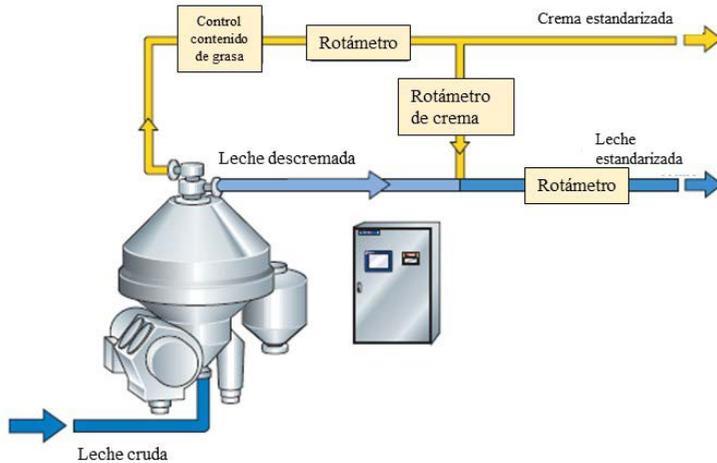


Este proceso se realiza tanto en la recepción de la leche como antes de hacer la estandarización. La leche se envía de los tanques de almacenamiento a un tanque de balance del cual se bombea a la primera sección del pasteurizador para hacer un precalentamiento a 68°C antes de pasar al tanque de expansión para el tratamiento a vacío. La leche desodorizada sale a una temperatura de aproximadamente 60°C.

ESTANDARIZACIÓN Y DESCREMADO

La estandarización de la leche consiste en ajustar la cantidad de grasa a un valor determinado según su especificación. Para ello se descrema la leche por centrifugación para luego reincorporar una fracción de crema suficiente para llegar al contenido determinado de grasa en el producto final. Es necesario conocer el contenido de grasa de la leche entera entrante, esto se puede hacer en línea, mediante un sistema de control automatizado. La eficiencia en el descremado depende del diseño de la centrífuga, de la velocidad a la que fluye la leche y de la distribución de los tamaños de los glóbulos de grasa. El contenido de grasa en la leche descremada oscila entre 0.04 y 0.07 %. Como se observa en la figura 3.3, si tratamos 100 kg de leche entera con 4 % de grasa y requerimos una leche estandarizada al 3 % y crema residual con 40 % de contenido de grasa, el balance nos dirá que de estos 100 kg de leche entera se obtienen 90.11 kg de leche descremada con 0.05 % de grasa y 9.89 kg de crema con 40 % de grasa. La cantidad de crema al 40% que debe añadirse a la leche descremada será entonces de 7.18 kg. Esto da un total de 97.29 kg de leche estandarizada al 3 %, dejando 2.71 kg de crema estandarizada con 40 % de grasa.

Figura 3.3. Diagrama del principio de estandarización de crema y leche (Tetra Pak, 2005).



HOMOGENEIZACIÓN

La homogeneización de la leche consiste en la desintegración de los glóbulos de grasa para disminuir su tamaño y evitar que se reagrupen, esto permite estabilizar la emulsión de grasa contra la separación por gravedad. Esto se logra al hacer pasar un flujo de leche y crema por un homogeneizador de dos etapas, donde en la primera etapa se realiza la homogeneización y la segunda etapa sirve para mantener una contrapresión constante y controlar el efecto de la primera etapa, para así romper agrupaciones formadas después de la homogeneización. La homogeneización se realiza en un rango de temperatura 55 a 80°C y las presiones de homogeneización en la primera etapa se realiza mediante una bomba de pistón que aumenta la presión de la leche de aproximadamente 300 kPa (3 bar) a la entrada, a una presión de homogeneización de 10 a 25 mPa (100 a 250 bar). Para la leche pasteurizada se utiliza normalmente una homogeneización parcial, donde no toda la leche descremada es homogeneizada, en cambio, la crema junto con una pequeña porción de leche descremada es homogeneizada, para reducir los costos operativos al reducir el volumen a homogeneizar. Se puede obtener una buena homogeneización cuando el producto contiene al menos 0.2 g de caseína por gramo de grasa. El homogeneizador se instala antes de la sección de calentamiento final en un intercambiador de calor.

PASTEURIZACIÓN

La pasteurización es un tratamiento térmico al que se somete la leche, su objetivo principal es destruir e inactivar los microorganismos patógenos, respetando en buena medida los componentes nutricionales. Para ello se requiere calentar la leche a una temperatura que oscila entre 55 y 75°C que, en combinación con el tiempo de exposición a la temperatura manejada, aseguran el objetivo de eliminar patógenos y conservar propiedades y calidad de la leche.

Existen diferentes tipos de pasteurización dependiendo de los tiempos y temperaturas:

Pasteurización lenta: Es la manera más común de pasteurizar pequeñas producciones de leche, realizando el proceso por lotes, calentando el lote de leche en una tina o tanque hasta alcanzar 63°C durante 30 minutos, enfriando en seguida hasta 4°C.

Pasteurización HTST (High Temperature Short Time): Consiste en someter la leche a temperaturas mayores, pero por periodos de tiempo más cortos en comparación con la pasteurización lenta. Se emplea para producciones mayores y se realiza en flujo continuo a través de un intercambiador de calor a fin de realizar una rápida transferencia de calor. La leche se calienta a 72-75°C durante 15-20 s para enfriarse inmediatamente después hasta 3-6°C (estos parámetros se rigen por la regulación de cada país). El equipo más utilizado es el intercambiador de calor de placas, en donde la leche se hace pasar a través de una primera sección de placas, hasta alcanzar una temperatura entre 72 a 75°C; de ahí fluye hacia los tubos de retención para asegurar el tiempo necesario del tratamiento térmico que suele ser de 15 a 20 segundos; de ahí, se regresa a una segunda sección de placas donde la leche pasteurizada es enfriada hasta 3-6°C, recuperando calor en una sección del intercambiador, poniendo en contacto la leche caliente pasteurizada con la leche fría cruda, logrando de esta manera un importante ahorro energético. Estas condiciones de esterilización destruyen patógenos, pero no frenan otros procesos físicos y bacteriológicos, por lo que la vida de anaquel es de sólo unos días aun en refrigeración a 4°C. Este procedimiento aplicado a la leche es para consumo directo y rápido.

Ultra pasteurización o pasteurización a ultra alta temperatura (UHT): Este proceso se utiliza para lograr una esterilización más completa de la leche de manera tal que puede conservarse por mayor tiempo y sin refrigeración siempre que sea envasada asépticamente después de haber sido esterilizada.

La temperatura a la que se calienta la leche ronda entre los 135 a 150 °C durante uno o dos segundos, para posteriormente bajar la temperatura a 4 grados. El proceso se realiza en flujo continuo, se utilizan intercambiadores de placas o mediante inyección directa de vapor. Si bien este proceso ofrece la ventaja de mayor tiempo de conservación de la leche, las propiedades fisicoquímicas y organolépticas son afectadas en mayor medida que en los procesos de pasteurización lenta o en pasteurización HTST.

El tratamiento térmico ha sido el método más extendido a nivel mundial para controlar la calidad microbiana de la leche fluída que se expende al público, por lo que, el tiempo y temperatura del tratamiento están reguladas por las dependencias sanitarias de cada país. En México las condiciones del tratamiento térmico se especifican en el Norma Oficial (NOM 243 SSA1 2010).

La pasteurización es una de las operaciones más importantes en el tratamiento de la leche y se considera un punto crítico de control. Si durante la pasteurización la temperatura cae por debajo de la temperatura fijada esto es detectado por el termostato que envía una señal para activar de forma inmediata la válvula de desvío de flujo al tanque de equilibrio, para ser reprocesada.

Es importante mencionar que la vida útil de la leche pasteurizada depende de la calidad de la leche cruda, de los cuidados que se tienen en el procesamiento de ésta y las buenas prácticas de manufactura. Con la pasteurización la vida útil de la leche se puede extender de 8 a 10 días cuando se almacena en un rango de temperatura entre 5 a 7 °C. La ultrapasteurización seguida de envasado aséptico permite periodos de conservación de 6 a 9 meses a temperatura ambiente, antes de ser abierto el envase.

ENVASADO

La leche pasteurizada y enfriada se envía a un tanque de almacenamiento intermedio con agitación, control de nivel y de temperatura por un periodo de tiempo corto antes de pasar al llenado de los envases. Los envases son lavados, después son transportados hasta una estación de control automático de limpieza e inspección, los envases que no cumplen son desechados y los que sí, continúan al llenado, cerrado, etiquetado y al área de empaque de donde se transportan para almacenarse en las cámaras frías. La leche pasteurizada normalmente se envasa en envases de plástico

desde un cuarto de litro hasta 3.875 litros. Otras presentaciones comunes pueden ser envases de cartón y bolsas de plástico.

En el caso de la leche ultrapasteurizada, el envasado suele realizarse de manera aséptica en envases herméticos (normalmente envases de cartón multicapa o botellas plásticas con sello hermético). Esto significa que una vez ultrapasteurizada la leche se maneja en ambiente estéril hasta que es colocada en el envase (también estéril) y sellado.

LIMPIEZA DE LOS EQUIPOS

Las plantas procesadoras de leche pasteurizada suelen ser de gran capacidad y están diseñadas en circuitos cerrados, por lo que la limpieza de los equipos se realiza mediante sistemas de limpieza también en circuito cerrado denominados limpieza en el sitio o “clean in place” CIP por sus siglas en inglés. La mayoría de los procesos de limpieza CIP son automáticos e independientes de las líneas de producción.

La limpieza empieza con un enjuagado previo por toda la línea de proceso, otro enjuagado intermedio para limpiar los tanques, en seguida se hace circular una solución cáustica desde un tanque, hacia el circuito de tuberías y el intercambiador de calor de placas, se enjuaga, y después se circula la solución ácida; se enjuaga de nuevo y se circula la solución desinfectante, el proceso termina con un enjuague final. La concentración, temperatura y velocidad de flujo de aplicación de las soluciones de limpieza son muy importantes para lograr su efectividad. El agua de limpieza debe ser potable, libre de microorganismos patógenos, baja en minerales. La cantidad y lugares de aplicación de soluciones cloradas deben controlarse, ya que pueden afectar en forma negativa la limpieza de la línea.

Es importante que el proceso de limpieza sea validado antes de poner en operación la línea de procesamiento de leche, evaluando que todas las áreas en contacto con el producto sean efectivamente lavadas.

3.3 Producción de leche en polvo

Algunos estudios relatan la utilización (e incluso comercialización) de leche en polvo en el siglo XIII. Sin embargo, lo que conocemos ahora, la leche en polvo obtenida de manera industrial tuvo sus orígenes a principios del siglo XX; el método era hacer fluir la leche por rodillos calentados que permitían

la evaporación del agua. Con el progreso de la tecnología, desde hace más de 70 años, la leche se deshidrata por el método conocido como secado por aspersión o por formación de aerosol o rocío.

3.3.1 Operaciones previas

El proceso para la producción de leche en polvo comienza con las mismas operaciones descritas en la sección anterior (3.1). El manejo de la leche cruda desde el establo hasta su llegada a la planta procesadora sigue el mismo cuidado e higiene, así como las operaciones de deodorización, estandarización de los sólidos grasos y la pasteurización son etapas preliminares necesarias para obtener una leche en polvo de calidad. Una vez pasteurizada, la leche se puede almacenar por varios días hasta el momento de la evaporación.

3.3.2 Evaporación

La evaporación consiste en concentrar un líquido eliminando un disolvente, el más común es el agua. La concentración de la leche permite contar con leche con un mayor contenido de sólidos aún fluída y una menor cantidad de agua.

En el evaporador, la leche precalentada se concentra de 9 - 13 % de sólidos de la leche hasta 45 - 52 %. Esta evaporación se lleva a cabo hasta 72°C bajo vacío. A esta temperatura se evita la destrucción de compuestos nutrimentales de la leche. El diseño del evaporador puede ser de múltiples efectos, en donde dos o más unidades se encuentran a presiones bajas y punto de ebullición aún más bajos, esto permite que la cantidad de vapor necesaria sea igual a la cantidad de agua evaporada.

3.3.3 Homogenización

La leche concentrada es bombeada a través de un homogeneizador con el fin de desintegrar los glóbulos de grasa para disminuir su tamaño y evitar que se agrupen, logrando estabilizar la emulsión de grasa contra la separación por gravedad, esto se logra haciendo pasar un flujo de leche y crema por el homogeneizador de dos etapas, donde en la primera etapa se realiza la homogenización y la segunda sirve para mantener una contrapresión constante y controla en la primera etapa dando mejores condiciones para la homogenización. La homogeneización se realiza en condiciones similares a la de la leche sin concentrar.

3.3.4 *Secado*

El proceso de secado consiste en la eliminación o pérdida de la humedad en una sustancia o material por medio de calor. El secado puede clasificarse según el proceso en el que se realice ya sea continuo o por lotes. Cuando el secado se realiza en un proceso por lotes, una cierta cantidad de sustancia que se va a secar se expone a una corriente de aire caliente que fluye continuamente, que se evapora y a la cual se le transfiere la humedad que se pierde. Cuando el secado se realiza de manera continua la sustancia que se desea secar y el gas pasan de manera continua a través del equipo perdiendo así humedad. En los procesos industriales el método de secado más común es el secado por aerosol. En el proceso de secado por aerosol la alimentación que es un líquido es ingresado a una cámara de secado donde se le suministra aire caliente en paralelo, lo que permite que el líquido se evapore rápidamente dejando como producto las partículas sólidas que luego son separadas del vapor formado. Un secador por aerosol está conformado por una cámara de secado, un atomizador que permite atomizar la alimentación dentro de la cámara de secado, tubería que introduce el aire caliente o el vapor a la cámara de secado y tubería que saca el aire caliente y el vapor formado fuera de la cámara de secado dejando como producto sólo las partículas sólidas.

Para la elaboración de leche en polvo se realiza un proceso de secado a la leche líquida, para eliminar el agua presente y obtener un producto sólido. El contenido de agua total presente en el producto final es de 2 al 5 %, esta pequeña cantidad de agua permite prolongar la vida útil de la leche debido a que no se produce un crecimiento de bacterias en un bajo contenido de agua, así mismo con este proceso se reduce su peso y volumen lo que permite un mejor manejo y transporte del producto. Una vez ingresada la leche en la cámara de secado se utiliza un atomizador de disco giratorio una serie de boquillas de alta presión, que hace que se elimine la mayor cantidad de agua posible dejando las partículas sólidas de la leche. El agua eliminada se evapora en la cámara de secado dejando como resultado un polvo fino que contiene aproximadamente un 6% de humedad y un tamaño de partícula aproximadamente menor a 0.1 mm de diámetro. Luego de este secado en la cámara se realiza un secado secundario en un lecho de fluido igualmente a partir de vapor o aire caliente donde se elimina el agua restante dando como resultado un producto con contenido del 2 al 4 % de humedad. Para la concentración por evaporación para elaborar leche en polvo es un

proceso que implica un elevado tratamiento térmico y por tanto múltiples alteraciones en las características nutricionales de la leche. Este proceso puede provocar que se den pequeños cambios en las proteínas y aminoácidos de la leche, además, de pérdida de la lisina presente hasta en un 20 %. Esto se da como consecuencia de la reacción de Maillard.

La leche en polvo debe de cumplir ciertas normas de calidad, la tabla 3.1 muestra la composición típica de la leche en polvo.

Tabla 3.1. Composición típica leche en polvo (g de componente /100g de leche en polvo)

Componentes	g/100g de leche en polvo
Proteína	24.5 - 27.0
Lactosa	36.0 - 38.5
Grasa	26.0 - 40.0
Cenizas	5.5 - 6.5
Humedad	2.0 - 4.5

Fuente: Revista Ingeniería y Ciencia, 2019 Vol. 1

3.4 Queso

Por definición el queso es el producto final obtenido al coagular leche por adición de agentes coagulantes o cuajo y al eliminar el suero obtenido del proceso de coagulación. El queso puede presentarse madurado o como producto fresco (Madrid Vicente, 1996). Los ingredientes básicos utilizados en la fabricación del queso son: leche fresca como materia prima, cultivo de bacterias lácticas, enzimas coagulantes o ácidos, cuajo, sal y aditivos permitidos según el tipo de queso y acorde a la legislación de cada país (Madrid Vicente, 1996).

Existe una amplia variedad de quesos en lo que respecta a presentación, forma, tamaño, recubrimiento, tipo de leche empleada, sistema de fabricación y almacenamiento. Por las razones anteriores la clasificación de los quesos resulta muy complicada. Las características de los quesos están definidas por forma, tamaño, peso, color y aspecto externo, así como datos analíticos tales como porcentaje de grasa, sal, extracto seco magro y humedad (Bernard, 1994).

3.4.1 Proceso de elaboración del queso

La figura 3.4 muestra el diagrama del proceso para la elaboración del queso fresco parte de leche cruda fresca, continúa con las siguientes etapas u operaciones:

- Termización o pasteurización.
- Adición de cuajo y fermento (cultivo iniciador)
- Adición de otros aditivos
- Coagulación de la leche
- Cortado de la cuajada
- Desuerado
- Salado
- Manejo de la cuajada
- Moldeo y prensado
- Termización o pasteurización

Para evitar pérdida de rendimiento y de consistencia en el queso, los tratamientos térmicos de la leche que se utilizan en queserías son los más moderados disponibles. Las altas temperaturas afectan significativamente ambos parámetros, por el efecto que tiene la temperatura sobre las proteínas de la leche, por ejemplo la caseína, que por su naturaleza micelar se desnaturaliza, al igual que las proteínas de suero, y como resultado pierden cierto grado de funciones que favorece la coagulación y por ende la firmeza del producto, tan importante en un queso. El tratamiento térmico puede llevarse a cabo a diferentes tiempos y temperaturas, 63 a 65°C durante 10 - 15 min (termización), 60 a 65°C durante 15 a 30 min (pasteurización lenta o por lote, que es la condición moderada o baja y la más común en quesería), 72 a 75°C durante 15 a 30 min (condición media) y alta: 85 a 87°C durante 10 a 15 min (condición alta).

Terminado el tiempo de pasteurización, la leche se enfría hasta lograr una temperatura de 32 a 38°C, a la cual se agrega el cuajo y el cultivo iniciador o fermento. Cabe resaltar que el proceso térmico de la leche es poco frecuente en la producción artesanal de queso, por una parte, debido a los costos que implica, y por otra, por la modificación que le imprime a la consistencia de la pasta y reducción de los rendimientos resultantes.

ADICIÓN DEL CUAJO Y DEL CULTIVO INICIADOR O FERMENTO

El cuajo es una sustancia enzimática de origen animal² cuya función

² El cuajo, también llamado rennina, es el extracto en alcohol de las enzimas digestivas del cuarto estómago de un rumiante joven, el abomaso. Está compuesto por varias enzimas proteolíticas, mayoritariamente por

es coagular la leche. Los cultivos iniciadores o fermentos son cepas seleccionadas de microorganismos capaces de acidificar la leche, que contribuyen a su coagulación. Esta capacidad de fermentar la leche en el proceso de elaboración de un queso facilita el desuerado, da elasticidad y firmeza al coágulo. Los cultivos iniciadores pueden inhibir el desarrollo de otros microorganismos no deseados, influyen en la maduración y homogeneidad del producto. El cultivo que se agrega depende del tipo de queso que se quiere elaborar. La temperatura de desarrollo de los cultivos es regularmente de 30 a 37°C, cuando son mesófilos, mientras que los cultivos termófilos son a 35 a 45°C.

ADICIÓN DE OTROS INGREDIENTES

El cloruro de sodio o sal común es un ingrediente indispensable en la producción de todos los quesos. Su función además del sabor es darle firmeza al coágulo o cuajada.

El cloruro de calcio es un aditivo común en la elaboración de queso cuando se utiliza leche pasteurizada. Esta sal recupera la consistencia perdida por el tratamiento térmico al que se sometió la leche.

Algunos quesos industriales también añaden nitrato de sodio y de potasio, enzimas como lipasas y lisozima, que influyen la maduración del queso, colorantes, conservadores y estabilizantes. La normatividad oficial mexicana aplicable a la leche y sus derivados establece los tipos de aditivos y sus límites de concentraciones (NOM-243-SSA1-2010).

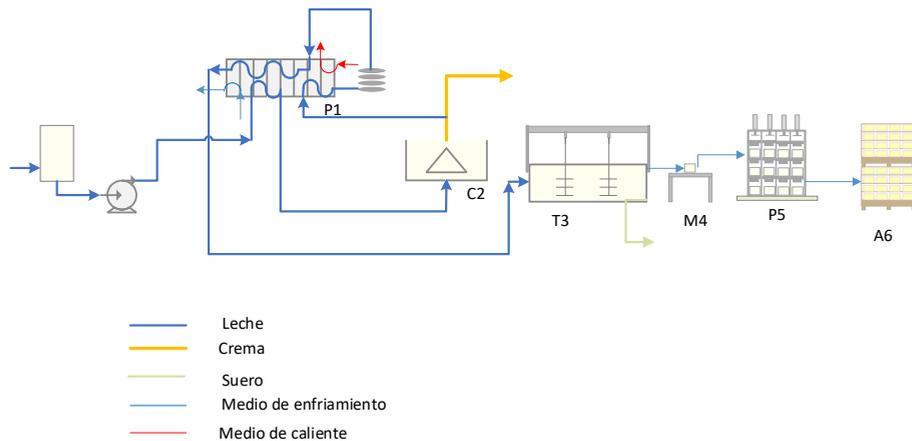
COAGULACIÓN DE LA LECHE

La coagulación se produce por la acción del cuajo, regularmente a una temperatura de 32 - 35°C, se favorece cuando la leche se acidifica por acción de los cultivos iniciadores y la adición del cloruro de calcio. Los factores que intervienen para lograr la coagulación son la temperatura de la leche (cuando más temperatura, menos tiempo de coagulación), la acidez de la leche (cuando más acidez, menos tiempo de coagulación), la concentración de calcio y sodio, la composición de la leche (cantidad de sólidos totales de la leche a mayor cantidad de sólidos, coagulación más rápida de la leche) y

quimosina, enzima específica que hidroliza el enlace del glicomacropéptido de la k-caseína. Al desprenderse el GMP la micela se desestabiliza y propicia la formación del coagulo de caseína En la actualidad existen sustancias comerciales con una función equivalente de origen microbiano o vegetal.

concentración del cuajo (a mayor cantidad de cuajo agregado, menor tiempo de coagulación).

Figura 3.4. Proceso general para la elaboración de queso (Elaborado por: Fernández-Flores O.).



Número	P1	C2	T3	M4	P5	A6
Descripción	Terminación o pasteurización	Centrifuga descremadora	Tina de cuajado corte, desuerado y salado	Mesa para moldeado	Prensa de quesos	Almacenamiento

CORTE DE LA CUAJADA

La leche coagulada consta de dos partes:

- Cuajada: Es la caseína coagulada por la acción del cuajo. Es lo que dará origen a la masa o pasta del queso.
- Suero: Parte líquida y mayoritaria de la leche coagulada. Contiene sales, proteína hidrosoluble, vitaminas, minerales, lactosa y algo de grasa.

Si consideramos que la leche contiene 12 % de sólidos y 88 % de agua, y un queso promedio tiene en promedio un 30 a 40 % de agua, es razonable pensar que es necesario eliminar una gran cantidad de ella para obtener el queso; eso se logra a partir del corte de la cuajada, lo que provoca la separación de la cuajada del suero y su posterior desuerado.

DESUERADO Y SALADO

El suero se elimina drenándolo o haciendo pasar los segmentos de cuajada por un colador o cedazo. La masa o pasta cortada de la cuajada se puede presionar contra las paredes de la tina de cuajado, lo que facilita el desuerado, a la vez que elimina el aire existente entre los granos de masa.

Una vez drenado el suero la pasta se sala de manera homogénea mediante un amasado o molienda. El salado también contribuye a la deshidratación de la pasta del queso, dar sabor, también inhibir el crecimiento de ciertos microorganismos y favorecer o seleccionar el desarrollo de microorganismos de microorganismos adaptados a mayores cantidades de sal. La tabla 3.2 presenta el manejo de la cuajada y las funciones que se favorecen.

Tabla 3.2 Objetivo del manejo de la cuajada el corte, calentamiento y lavado de la cuajada en un proceso de elaboración de queso.

Operaciones	Descripción
Corte de la cuajada:	Aumenta el desuerado (al aumentar el área a desuerar). Facilita el calentamiento uniforme de la cuajada.
Calentamiento y agitación:	Aumenta la sinéresis (fenómeno por el cual el grano/cuajada va perdiendo el suero, disminuye su volumen y se endurece). Salida del suero. Genera elasticidad, firmeza y cohesión a la cuajada. Favorece la fermentación láctica
Lavado de la cuajada	Disminuye la lactosa. Permite regular el pH del queso. Da elasticidad al queso

MOLDEO Y PRENSADO

El moldeado de la cuajada consiste en poner la masa de queso en moldes diseñados para eliminar el excedente de suero aún retenido en la cuajada para después prensarla donde se ponen los moldes en una prensa para endurecer la masa, eliminar el suero sobrante, alcanzar el pH deseado y unir el grano.

Cabe mencionar que, en el mundo existe una gran diversidad de quesos, cuya identidad está relacionada con diferentes factores, desde el país de origen o la leche de la especie con la que se elabora, hasta si es o no prensado, si es o no inoculado con cultivos microbianos iniciadores, u otros específicos, como el caso de los quesos franceses roquefort y camembert, los cuales en algún punto del proceso son inoculados para que se desarrolle en su interior el *Penicillium roqueforti* en el primero y con *P. camemberti* sobre su superficie en el segundo, esto les dará las características distintivas a cada uno. En México, la normatividad establece las especificaciones para

cada tipo de queso que se produce o comercializa en territorio nacional. La clasificación más general es la de quesos frescos, madurados, procesados y quesos de suero.

3.5 Mantequilla

3.5.1 Características y composición de la mantequilla

La mantequilla es un derivado de la leche que concentra su materia grasa de la leche. La mantequilla es de consistencia sólida y homogénea, contiene al menos 80% de grasa y 16 a 18 % de humedad, además de contener algunas de las vitaminas presentes en la leche como la vitamina A y D por el hecho de ser liposolubles. El color amarillo característico de la mantequilla es debido al contenido de carotenoides de la leche, el cual fluctúa según la temporada y la alimentación de las vacas. Su olor y sabor también son característicos y son provocados principalmente por un compuesto volátil denominado diacetilo. En su producción comercial, el color de la mantequilla se puede estandarizar utilizando colorantes naturales como bixina, curcumina y betacaroteno. También está permitida la adición de otros ingredientes como sales para ajustar el pH de la mantequilla en cantidades no mayores a 0.2 % referido a peso de materia seca. Estas sales pueden ser ortofosfato y carbonato sódicos.

La mantequilla se obtiene a partir de la nata o crema que se separa de la leche entera mediante centrifugación. La crema de la leche se bate para provocar que los glóbulos de grasa se aglomeren y permitan liberar el agua excedente que formaba la emulsión de la crema (la crema, cuyo contenido de grasa es de 35 a 40 %, es una emulsión de grasa en agua mientras que la mantequilla es una emulsión de agua en grasa). El agua excedente que es liberada durante el batido es separada en forma de “suero de mantequilla”. La grasa aglomerada y separada se amasa para obtener una mezcla homogénea que finalmente se moldea y se envasa como producto denominado mantequilla. La mantequilla se puede sazonar con sal durante el amasado si así se desea. La crema de la leche puede presentarse de dos formas o tipos: crema dulce o cruda y crema ácida o fermentada. Ambos tipos de crema pueden ser utilizados para la elaboración de mantequilla, pero la más utilizada es la crema fermentada porque proporciona un sabor y aroma característicos a mantequilla ya que contiene los compuestos producidos

por las bacterias lácticas durante la fermentación, siendo el diacetilo, el ácido láctico y el ácido acético los principales, mientras que la mantequilla elaborada con la crema dulce tiene un sabor más tenue y característico a crema. La mantequilla que se obtiene de la crema fermentada tiene como ventajas un mayor rendimiento y mayor estabilidad microbiológica por el hecho de que las bacterias de la fermentación inhiben el desarrollo de otras bacterias indeseables. Sin embargo, la mantequilla de crema fermentada tiene el inconveniente de ser más susceptible a oxidación.

3.5.2 Proceso de elaboración de la mantequilla

Los procesos de producción a mayor escala pueden ser por lotes o en procesos continuos con maquinaria especializada para la elaboración de mantequilla. Estos procesos incluyen varias etapas. El proceso general para la elaboración de la mantequilla se puede ver en la figura 3.4.1 y puede ser por lotes o en forma continua. La recepción de la leche cruda se realiza en silos (S1), luego la leche se bombea al intercambiador de calor (P2) para precalentar a 63 °C y posteriormente pasarla a la centrífuga descremadora (C3), donde se separa la leche en dos corrientes, una de leche descremada que regresa al pasteurizador para recibir su calentamiento, sostenimiento y enfriamiento y posterior almacenamiento, por otro lado sale la crema que se envía al pasteurizador (P4) para hacer un precalentamiento y luego pasarla al deaireador a vacío (D5) para retirar posibles aromas desagradables, retornando al pasteurizador (P4) para continuar la pasteurización con un calentamiento y un enfriamiento, saliendo hacia el tanque agitado de maduración (T6), donde se le pueden agregar cultivos lácticos para su fermentación, luego se le da un calentamiento en el intercambiador (I7) y se envía a la mantequilladora la cual puede ser procesada por lotes o proceso continuo. Para un proceso por lotes se envía a la mantequilladora (M8), después del batido y desuerado se pasa a la envasadora (E12), en cuanto al proceso continuo, se deriva a la mantequilladora (M9) donde se hace el batido y desuerado, pasando posteriormente al silo de mantequilla con tornillo (T11) y posteriormente a la envasadora (E13). Con respecto al suero de la leche tanto en el proceso por lotes como el continuo se recolecta en un tanque para suero de mantequilla (T10). En algunas fábricas la obtención de la mantequilla se realiza a partir de crema, la cual debe ser de buena calidad bacteriológica, sin sabor ni aroma desagradable, debe ser pasteurizada y

evitar que se contamine en el traslado. Después de la recepción, pesaje y análisis, la crema se almacena en tanques (figura 3.5). La crema que contiene antibióticos o desinfectantes no debe de usarse para la fabricación de mantequilla fermentada.

PASTEURIZACIÓN

La crema se pasteuriza a alta temperatura (95°C o superior), sin tiempo de retención, seguido de un enfriamiento. El tratamiento térmico debe ser suficientemente fuerte para dar una prueba de peroxidasa negativa, pero no tan alto que pueda causar defectos como el sabor a cocido.

DEAIREACIÓN A VACÍO

Si la crema tiene olor o sabor desagradable puede retirarse mediante un tratamiento a vacío, calentando la crema a 78°C en el intercambiador de calor y luego introduciéndola en una cámara a vacío donde la presión corresponda a una temperatura de ebullición de 62°C, produciendo una evaporación flash donde se liberan los compuestos volátiles. La crema deodorizada se retorna al pasteurizador para su tratamiento térmico y luego continuar al tanque de maduración.

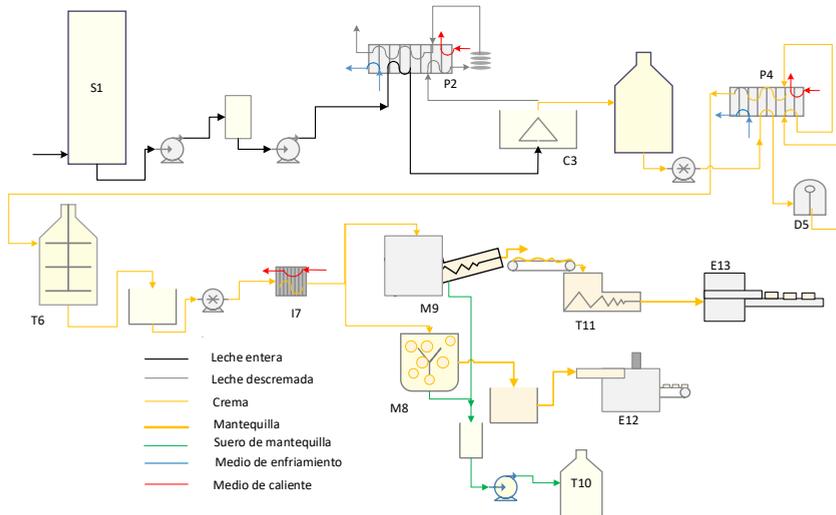
MADURACIÓN

La leche descremada se utiliza principalmente como sustrato o medio de crecimiento para el cultivo y ésta debe estar previamente pasteurizada entre 90 y 95 °C durante 15 a 30 minutos.

Los tanques de maduración normalmente son de tres paredes, de acero inoxidable, aislados, con medio de calentamiento y refrigeración circulando entre las paredes, son agitados con raspadores reversibles para realizar una agitación eficiente. Tanto el calentamiento como el enfriamiento debe ser gradual. El medio de cultivo debe estar bien mezclado antes de ser bombeado al tanque de maduración, normalmente primero se bombea el medio de cultivo al tanque de maduración seguido de la crema, y se debe mezclar cuidadosamente en la crema. El valor del yodo es factor decisivo en la selección de parámetros de maduración, mediante un programa de temperaturas. Una crema con alto valor de yodo (hasta 42) tiene un alto contenido de grasa insaturada y producirá mantequilla suave mientras que un valor de yodo hasta 28 producirá una mantequilla dura, se puede controlar la

calidad variando las condiciones de maduración para adaptarlas al valor del yodo. La temperatura de acidificación también estará determinada por este programa, ya que la maduración tiene lugar al mismo tiempo. Lo agrio de la crema debe completarse cuando finalice el tratamiento de temperaturas (figura 3.5).

Figura 3.5. Proceso general para la elaboración de mantequilla por lotes o en forma continua (elaborado por: Fernández-Flores O.)



Número	S1	P2	C3	P4	D5	T6	I7	M8	M9	T10	T11	E12	E13
Descripción	Silo	Precalentamiento y Pasterización de leche	Centrífuga descremadora	Pateurizador de crema	Dearador	Tanque de maduración	Intercambiador de calor	Mantequilladora por lotes	Mantequilladora continua	Tanque para suero	Silo mantequilla con tornillo	Envasadora por lotes	Envasadora proceso continuo

TRATAMIENTO DE UNA GRASA DURA CON VALOR DE YODO BAJO (DE 28 – 29)

Después de la pasteurización de la crema se realiza un enfriamiento rápido a aproximadamente 8°C y un mantenimiento a esta temperatura durante aproximadamente dos horas. A esta temperatura inicia la formación de cristales mezclados de grasa. Luego se realiza un calentamiento suave a 20-21 °C durante al menos 2 horas, para este calentamiento se utiliza agua a un máximo de 27°C. durante este calentamiento se derriten los cristales de grasa con un bajo punto de fusión dejando sólo los cristales puros de grasa con un alto punto de fusión. Posteriormente se realiza un enfriamiento a

16°C y luego a la temperatura de batido. Cuando se reduce a 16°C la grasa derretida continúa el proceso de cristalizar y formar cristales puros.

BATIDO

La realización del batido puede suceder en dos formas: Producción por lotes y producción en proceso continuo.

PRODUCCIÓN POR LOTES

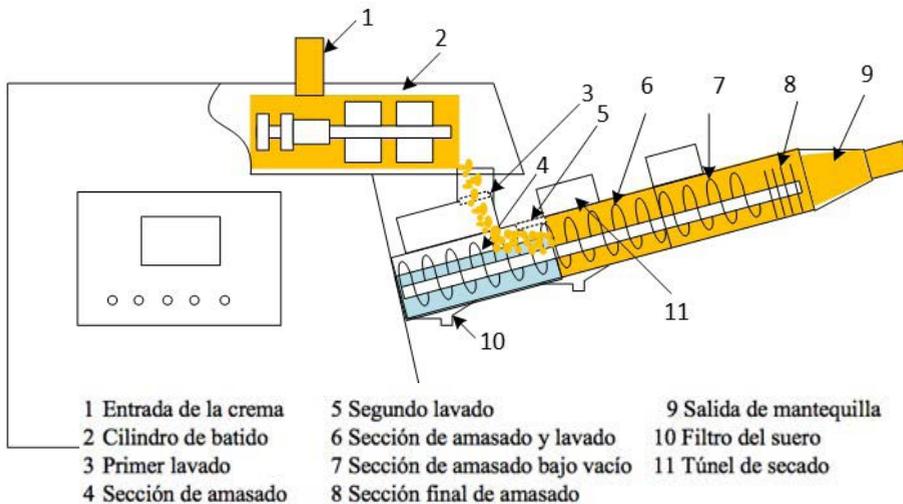
Terminando los tratamientos térmicos, la crema se ajusta a la temperatura de batido y pasa a la mantequilladora para hacer el batido, ésta se llena hasta un 40 a 50% de su capacidad para permitir espacio para la espumación. Después de batir vigorosamente se detiene la máquina con el la intención de dar salida al gas que se desprende de la crema. Posteriormente se sigue batiendo durante 45 minutos hasta que la espuma se corta y los granos de masa han alcanzado el tamaño de los granos de trigo. Luego se evacúa el suero con rapidez. Cuando se realiza un solo lavado se agrega en una sola vez un tanto de agua por uno de nata. En caso de hacer dos o tres lavados, el primero es de 1/3 y el segundo y tercero son 2/3 de este volumen. El lavado se realiza a 15 revoluciones por minuto. El agua de lavado se elimina de la misma manera que el suero. Luego se continúa amasando.

PRODUCCIÓN EN PROCESO CONTINUO

Terminando los tratamientos térmicos, la crema fermentada se pasa a un tanque de balance que regula la alimentación a una bomba y ésta a su vez alimenta a un intercambiador de placas para calentar la crema fermentada en un rango de 8 a 11 °C, que es el rango de temperaturas más recomendado para transformar la crema en mantequilla en la mantequilladora continua. Este equipo cuenta con diferentes secciones que se puede ver en la figura 3.6 donde la entrada de la crema fermentada es la sección 1, el cilindro de batido (sección 2) que realiza el batido mediante paletas y es impulsado por un motor de velocidad variable, en esta sección se separa la mantequilla en gránulos y el suero de mantequilla que pasa a una sección de filtrado y drenado 10. La mantequilla y el suero pasan al primer lavado (sección 3) con agua o con el mismo suero enfriado y recirculado. Le sigue la primera sección de amasado (paso 4) que consiste en un tornillo sin fin que amasa y transporta la mantequilla al segundo lavado (paso 5) donde

se realiza un lavado con agua a presión y se termina de eliminar el suero de mantequilla en la sección de amasado y lavado (paso 6). En la sección 7 se continúa amasando la mantequilla, aplicando vacío para eliminar el aire ocluido y en esta sección se podría adicionar la sal si se desea. En la sección 8 se realiza el amasado final de la mantequilla con una serie de discos perforados y ruedas en forma de estrella. También se puede realizar el ajuste del contenido de humedad agregando agua. La sección 9 es la salida del producto (mantequilla) que descarga al área de envasado. En cuanto a su vida de anaquel, si el proceso y condiciones han sido adecuadas de empaque y almacenamiento, su vida de anaquel rebasa los 12 meses.

Figura 3.6. Secciones de una mantequilladora continua (elaborado por: Fernández-Flores O.).



3.6 Yogur natural

El yogur se obtiene por la fermentación de la leche pasteurizada, entera, semidescremada o descremada, por la acción de microorganismos específicos: *Lactobacillus delbrueckii subsp. Bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus* los cuales deben de estar vivos (viabiles) en el producto terminado y debe contener como mínimo 10^7 UFC/g de la suma de ambos microorganismos (*Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii*

sp bulgaricus), conforme al método de prueba de bacterias que fermentan los productos (NMX-F-703-COFOCALEC-2012), acompañados de otros ingredientes y aditivos alimentarios permitidos por la Secretaría de Salud (NOM 181 SCFI/SAGARPA 2018) (Codex Alimentario, 2011; Norma Oficial Mexicana (PROY-NOM-185-SSA1-2000).

Las bacterias lácticas en la leche provocan un cambio en sus componentes nutritivos y transforma la lactosa en ácido láctico, lo que genera la acidificación, el proceso que hace que la leche coagule las proteínas, que junto a las grasas resultan sustancias de estructuras más simples para el sistema digestivo. Este proceso microbiano, con otros parámetros como la composición de la leche y la temperatura, ofrecen características particulares al producto final como la textura, un aumento de minerales y la disminución del colesterol en la leche antes de someterse a la fermentación ácida. Los microorganismos productores de la fermentación láctica deben ser viables y estar presentes en el producto terminado en cantidad mínima de 1×10^7 colonias por gramo o mililitro. Este punto es fundamental, puesto que la existencia de la actividad de los microorganismos vivos en el yogur es lo que confiere sus características nutricionales y biológicas específicas (Condon y Salcedo *et al.*, 1988).

3.6.1 Tipos de yogur

Según Hernández, (2003) reporta que en la actualidad se elaboran diferentes tipos de yogur, los cuales difieren en su composición química, método de producción, sabor, consistencia, textura y proceso post-incubación entre ellos están: yogur afluado, yogur batido y líquido, los cuales entran en la siguiente consideración:

En cuanto al *contenido* en materia grasa láctea, el yogur puede ser desnatado, semidesnatado, entero y cremoso.

En función de su *consistencia* puede clasificarse en yogur firme, que es fermentado y enfriado en el mismo envase; yogur batido, que es incubado y enfriado antes de su envasado, yogur líquido o bebible, similar al yogur batido, pero con el coágulo más disperso hasta obtener una forma más líquida antes del envasado.

Por su *aroma* y *sabor*: se encuentra el yogur natural, yogur frutado y el yogur aromatizado.

Por su *tratamiento post-incubación*, se encuentran el yogur tratado térmicamente, yogur congelado, yogur deshidratado y yogur concentrado.

Otra clasificación puede visualizarse de acuerdo con la Norma Oficial Mexicana 181-SCFI/SAGARPA (Secretaría de Economía and Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación, 2018), mostrada en la tabla 3.3.

Las bacterias lácticas empleadas en la producción del yogur son: *Streptococcus thermophilus*, una bacteria gram-positiva, no móvil, anaerobia facultativa, se desarrolla a 37 - 40 °C de temperatura, pero puede resistir 50 °C e incluso 65 °C por media hora. Posee gran relevancia en la industria láctea, pues utiliza principalmente azúcares como sustrato para la generación de productos de fermentación, esta bacteria tiene menor poder de acidificación que el lactobacilo (Spreer, 1995) y *Lactobacillus bulgaricus*, es una bacteria láctea homofermentativa. Se desarrolla muy bien entre 42 y 45 °C, produce disminución del pH, puede producir hasta un 2,7 % de ácido láctico, es proteolítica, produce hidrolasas que hidrolizan las proteínas. Esta es la razón por la que se liberan aminoácidos como la valina, la cual tiene interés porque favorece el desarrollo del *Streptococcus thermophilus* (Spreer, 1995). En esta relación entre los dos tipos de microorganismos, *S. thermophilus* es la especie que inicia la fermentación láctica y el que desarrolla un pH de 5.5 la acidez; el consumo de oxígeno y la liberación de sustancias volátiles que se producen, además de crear las condiciones ideales para que se desarrolle el *L. bulgaricus*. los lactobacilos desarrollan aparte una actividad acidificante, gracias a la actividad proteolítica, liberando así ácidos grasos, acetaldehído y así se constituyen los compuestos responsables de aroma del yogur.

Tabla 3.3. Clasificación de los diferentes tipos de yogur (Secretaría de Economía and Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación, 2018). Fuente: NOM, 2018.

Tipo de yogur	Descripción
Yogur natural	Es aquel con un pH final o inferior a 4.6, con un contenido mínimo de grasa del 2 % y un 8.5 % de sólido no grasos. Además, son aquellos que no contiene edulcorantes, azúcares añadidos, frutas, vegetales, cereales, saborizantes o aromatizantes y pueden contener aditivos permitidos conforme a la legislación nacional vigente.
Yogur natural con endulzante	Es el yogur natural que solo se mezcla con azúcares o edulcorantes con el fin de endulzarlo, y que puede contener aditivos permitidos conforme a la legislación nacional vigente.
Yogurt saborizado	Es el yogurt al que se le adiciona cualquier tipo de edulcorantes, azúcares añadidos, saborizantes o aromatizantes, y que puede contener aditivos permitidos conforme a la legislación nacional vigente.
Yogur con fruta u otros alimentos	Es el yogurt al que se le adicionan edulcorantes, azúcares, aromatizantes, saborizantes, frutas o vegetales (en forma de puré, pulpa o jugo), miel, chocolate, cacao, café, cereales, nueces, frutos secos y especias y que puede contener aditivos permitidos conforme a la legislación nacional vigente.
Yogur con fruta u otros alimentos	Es el yogurt al que se le adicionan edulcorantes, azúcares, aromatizantes, saborizantes, frutas o vegetales (en forma de puré, pulpa o jugo), miel, chocolate, cacao, café, cereales, nueces, frutos secos y especias y que puede contener aditivos permitidos conforme a la legislación nacional vigente.

3.6.2 *Procesamiento del yogur*

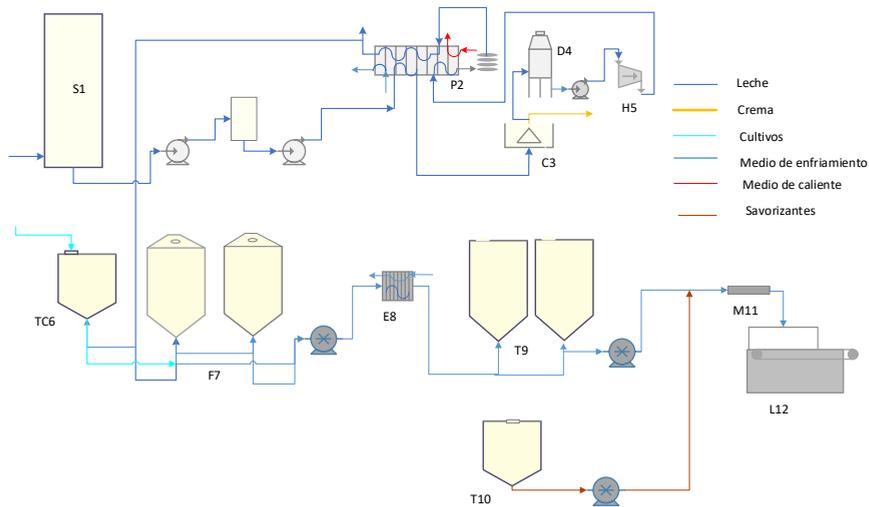
El yogur se elabora a partir de leche fresca de vaca, la cual después de ser pasteurizada, se fermenta por medio de los cultivos propios y aditivos permitidos, los cuales le dan la consistencia deseada de acuerdo con el tipo de yogur (diagrama de flujo en las figuras 3.7 y 3.8).

PASTEURIZACIÓN

Pooter y Hotchkiss, 1995 reportan que el tratamiento térmico es un paso fundamental en la elaboración del yogur, ya que este tratamiento tiene funciones como eliminación de bacterias indeseables y para adquirir una consistencia adecuada, no sólo por la coagulación ácida sino por la desnaturalización de proteínas del suero, en especial la β -lactoglobulina,

consiguiéndose resultados buenos en la consistencia de yogures a una temperatura entre 85 y 95 °C. Otra función importante del tratamiento térmico es que elimina oxígeno creando condiciones adecuadas para el desarrollo de *L. bulgaricus* (Early, 1992).

Figura 3.7. Diagrama del proceso de elaboración del yogur (elaborado por Fernández-Flores O).



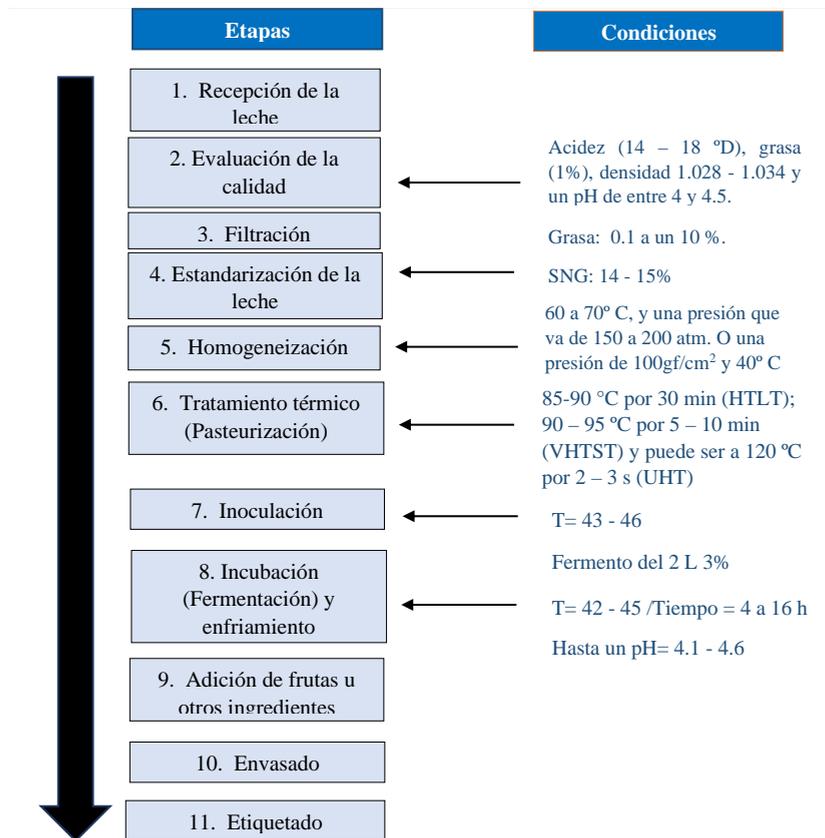
Número	S1	P2	C3	D4	H5	TC6	F7	E8	T9	T10	M11	L12
Descripción	Silo	Ternización, Pasteurización de leche	Centrífuga descremadora	Deareador	Homogeneizador	Tanque de propagación de cultivos	Fermentadores	Enfriador	Tanque balance	Tanque saborizantes	Mezclador en línea	Llenadora

Las condiciones del proceso de pasteurización pueden ser: a) Temperatura de 85-90 °C por 30 minutos (HTLT); 90 – 95 °C por 5 – 10 min (VHTST), y b) puede ser a 120 °C por 2 – 3 s (UHT), esto con el objetivo de eliminar los microorganismos patógenos y no patógenos, así como las bacterias presentes en la leche que puedan perjudicar la calidad del producto, sin afectar el valor nutritivo de la misma. También modifica la estructura de las proteínas lácteas, generando una desnaturalización para obtener una mayor estabilidad del coágulo y una disminución de la sinéresis durante el almacenamiento del yogur. Posterior a este tratamiento se enfría a 40 - 45 °C para luego continuar con la inoculación.

INOCULACIÓN

Una vez finalizados los procesos de homogenización y pasteurización, la leche tiene que enfriarse de 90 a 43 - 46 °C (temperatura ideal para el desarrollo de las bacterias ácido-lácticas) (Franco, 2000) y se añade el cultivo de fermentación en una concentración de cerca del 2 al 3 % y se agita por 5 a 10 minutos, dependiendo de la cantidad a procesar. En esta etapa el objetivo es proporcionar las condiciones de temperatura y tiempo para que se desarrolle ópticamente el cultivo inoculado responsable de la fermentación láctica y formación de compuestos responsables del sabor y aroma del yogur.

Figura 3.8 Diagrama del proceso de elaboración del yogur



INCUBACIÓN (FERMENTACIÓN) Y ENFRIAMIENTO

Se deja la mezcla durante 4 a 6 horas con una temperatura de 42-45 °C para que adquiera un porcentaje de ácido láctico de 0.9% y un pH de 4.1 a 4.6, esto establece su concentración de hidrógeno y el nivel de acidez requerido, también puede ser a 40 - 44 °C por 2 h y media (método de incubación corto) para cultivos lácticos activos (3 %) con una relación bacilos/cocos adecuada.

Una vez que se ha realizado la fermentación y el yogur ha alcanzado el pH deseado, el coágulo debe ser rápidamente enfriado a 4 - 5 °C para detener la actividad de los microorganismos y evitar la sobre acidificación. Una vez obtenido el yogur debe de mantenerse refrigerado y tratarse con cuidado para finalizar con un producto de alta calidad (Tamime and Robinson, 1991).

ADICIÓN DE FRUTAS Y OTROS INGREDIENTES

Por lo general a nivel industrial se le añade al yogur natural agentes aromatizantes, como frutas, aromas naturales y sintéticos, los cuales pueden ser: frutas en conservas, frutas congeladas, puré de frutas, jarabes de frutas y mermeladas. Dentro de los aromatizantes se utilizan aromas naturales de origen botánico, sustancias aromatizantes idénticas a las naturales y sintéticas o artificiales). Otros aditivos son añadidos dependiendo del tipo de yogur y las características que se le dan al producto final: miel, caramelo de azúcar, coco, avellanas, nueces, cereales, hortalizas (pepino, tomate, apio) y otros como café, moka, especias, pimentón, vainilla etcétera,

ENVASADO

Este paso es sumamente importante, pues se controla el cerrado hermético del envase para mantener la inocuidad del producto; se debe controlar que el envase y la atmósfera durante el envasado sean estériles; en el producto firme (yogur natural) se puede envasar antes de la fermentación o luego de una prefermentación y en la misma envasadora se realizan los agregados de fruta según corresponda, en el batido se envasa luego de elaborado el producto.

El yogur debe de envasarse en recipientes atóxicos y químicamente inertes para evitar una posible reacción con el producto, el material más adecuado es el plástico con tapaderas de aluminio. El yogur debe de ser vendido al consumidor, como máximo, dentro de los veintiocho días

siguientes, contados a partir de su elaboración ya que es una forma de asegurar la distribución del producto hasta el consumidor final (Tamime and Robinson, 1991). Actualmente se manejan nuevas tecnologías como los “desapilados”, “ultraclean” y “termosellado” que permite aumentar la vida de anaquel del yogur hasta 45 días.

3.7 Procesamiento de lactosuero

Durante las últimas décadas, muchos investigadores han estudiado la posibilidad de la utilización del suero como subproducto no deseado, principalmente el que se desecha de las pequeñas y medianas industrias queseras, las cuales, al desconocer su aprovechamiento, lo vierten en las redes de desagüe que a su vez desembocan en cuencas o depósitos de agua como ríos y lagos, siendo un foco considerable de contaminación.

Por su valioso valor nutritivo y alto contenido proteico en suero se ha convertido en una valiosa materia prima. Tradicionalmente se obtiene un polvo al deshidratar el suero líquido (dulce y ácido); sin embargo, considerando otras opciones de procesamiento para mejorar la economía y darle valor a tal subproducto, el suero se podría utilizar, por ejemplo, en la fermentación, en la producción de refrescos, producción de concentrado de proteína de suero (WPC)³, y aislado de proteína de suero (WPI)⁴, fraccionamiento de ciertos componentes proteicos, como aislamiento y purificación de α -lactoalbúmina (α -la), incluidos péptidos específicos, y producción de lactosa, ácido láctico y bioetanol (Božanić *et al.*, 2014).

3.7.1 Descripción de suero

El suero es el resultado de la coagulación de la leche en el proceso de obtención del queso mediante la acción ácida o de enzimas del tipo del cuajo (renina, enzima digestiva de los rumiantes) que rompen el sistema coloidal de la leche en dos fracciones: 1) Una fracción sólida, compuesta principalmente por proteínas insolubles (caseínas) y lípidos, las cuales en su proceso de precipitación arrastran y atrapan minoritariamente algunos de los constituyentes hidrosolubles y 2) una fracción líquida, correspondiente al lactosuero en cuyo interior se encuentran suspendidos todos los otros

³ WPC. Por sus siglas en inglés: whey protein concentrate

⁴ WPI. Por sus siglas en inglés: whey protein isolate

componentes nutricionales que no fueron integrados a la coagulación de la caseína. De esta forma, se encuentran en el lactosuero partículas suspendidas solubles y no solubles (proteínas, lípidos, carbohidratos, vitaminas y minerales), y compuestos de importancia biológica-funcional (CODEX ALIMENTARIUS, 1995; Food and Drug Administration Department of Health and Human Services., 2017; Walzem *et al.*, 2002).

3.7.2 Composición del suero

La composición química del suero depende del tipo de proceso del cual proviene, ejemplo: producción de caseína o producción de queso, en este último caso, depende del tipo de queso. En términos generales, el suero se clasifica en dulce (cuando proviene de la acción enzimática sin la adición de ácido) o ácido (cuando proviene de la acción de un ácido orgánico sobre la caseína o la acción combinada, enzimática y ácida, ambas sobre la caseína (tabla 3.4). El suero dulce obtenido de la producción de un queso tipo cheddar presenta un pH de entre 5 y 6, mientras el suero que proviene de la elaboración de queso del tipo cottage presenta un pH menor a 5. El suero generalmente contiene aproximadamente el 50% de los componentes de la leche como lactosa (más o menos 70% dependiendo de la acidez del suero); proteínas del suero (más o menos 14%), minerales y algo de grasa, en cuanto a los minerales el suero ácido contiene mayor cantidad de ellos.

Tabla 3.4. Composición química general (g/L) del suero y distribución proteica.

Suero	Dulce	Ácido	Observación
Sólidos Totales	63.0 – 70.0	63.0 – 70.0	-
Lactosa	46.0 – 52.0	44.0 – 46.0	95% de la lactosa de la leche
Proteínas	6.0 – 10.0	6.0 – 8.0	En una proporción 0,8-1,0% p/v, corresponde alrededor del 25% de las proteínas en la leche. Alto contenido de aminoácidos (leucina, isoleucina, lisina, valina) vs proteínas de referencia, caseína, proteína de soya y proteína humana.
Calcio	0.4 – 0.6	6.0 – 8.0	
Fosfatos	1.0 – 3.0	2.0 – 4.5	-
α -Lacto albúmina	30 % del total del contenido proteico		
β -Lacto globulina	Es importante porque tiene propiedades emulsionantes y cumple una función importante al interactuar con compuestos como el retinol y los ácidos grasos.		
Globulina	Corresponden a 10% del total de proteínas		

Lípidos	0.5 % y 8 % de la materia grasa de la leche
Vitaminas	Tiamina 0.38mg/ml; Riboflavina 1.2mg/ml; Acido nicotínico 0.85mg/ml; Ácido Pantoténico 3.4mg/ml; Piridoxina 0.42mg/ml; Cobalamina 0.03mg/ml; Ácido ascórbico 2.2mg/ml
Minerales	8-10 % del extracto seco. Potasio, fosforo, sodio y magnesio.
Compuestos biológicamente activos y péptidos bioactivos	Para ejercer determinados efectos biológicos y fisiológicos. Con potencial antihipertensivo, actividad antimicrobial, antioxidante, incremento de la saciedad, entre otros.

Referencias: Badui, 2006; Walzem, 2002

3.7.3 *Productos a partir del suero lácteo*

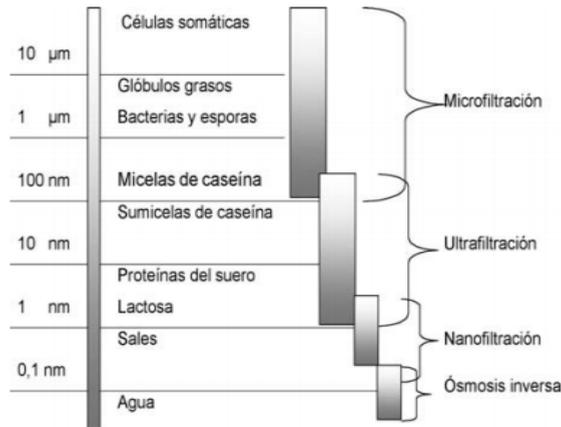
Los productos (como ingredientes) que se pueden obtener a partir del suero líquido son: Suero en polvo, aislados proteicos, concentrados proteicos, riboflavina, ácido láctico, queso de suero, obtención de cisteína.

LACTOSUERO CONCENTRADO

Una vez que se extrae el suero posterior a la precipitación de la caseína para la producción del queso, las características del suero líquido se componen de un 6.5% de extracto seco en el que se engloba el contenido de lactosa, proteínas, vitaminas, minerales y lípidos y por lo tanto el 93.5% restante es agua. Dado al alto contenido de humedad del lactosuero, la conservación de éste es reducida y requiere una inversión elevada para su transporte. Estos factores influyen en el desarrollo de técnicas de concentración por extracción de agua. La concentración de cada componente del lactosuero se puede realizar selectivamente mediante tecnologías de membranas.

A continuación, se describe la concentración de lactosuero por nanofiltración, implica también la evaporación al vacío o secado por aspersión. De igual forma si el producto final esperado es el concentrado de suero en polvo, se sugieren los tres procesos secuenciales; a través de estas operaciones unitarias se puede el tiempo de conservación del producto, incrementar el valor de su aprovechamiento y reducir los costos asociados a su transporte.

Figura 3.9. Selectividad de los diferentes procesos de membranas aplicables a la leche (Brans *et al*, 2004).

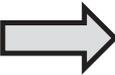


NANOFITLACIÓN

La nanofiltración no requiere operar a altas presiones por lo que demanda menos energía. Su aplicación en la industria láctea es la reducción de costos de transportación, así como de recuperación de lactosa, eliminación de nitratos y sólidos de proteínas de suero. Con la nanofiltración se obtiene una concentración mayor de los sólidos, además una cantidad de sales más baja que con la ósmosis inversa. El uso de la nanofiltración de igual manera reduce el impacto de la contaminación en un porcentaje considerable, dado que el flujo de efluente es más bajo que el flujo del permeado (figura 3.9).

Este proceso se realiza a través de membranas selectivas, impulsado por presión, cuyas condiciones operativas para la concentración del suero de leche brindan beneficios sobre la osmosis inversa o la ultrafiltración. La nanofiltración es una tecnología de membrana de ultra/baja presión con el mismo fundamento que la osmosis inversa y difusión controlada. La diferencia principal es el grado de retención que logran estas membranas, operando en rangos más altos de corte de peso molecular (0.001 – 0.01 mm).

Tabla 3.5 Traspaso de compuestos del suero a través de la membrana de nanofiltración

Compuesto	(%)	Nanofiltración 	Compuesto	(%)
Lactosa	4.70		Lactosa	16.45
Sales	0.60		Sales	1.20
Proteína	0.60		Proteína	2.30
Grasa	0.06		Grasa	0.23
Extracto Seco	5.96		Extracto Seco	20.18

Las membranas de nanofiltración poseen un mayor grado de remoción de materia orgánica disuelta, además de una selectividad que permite un rechazo elevado de iones multivalentes como el calcio, el magnesio o el sulfato. La figura 3.10 muestra el equipo de nanofiltración. Por su parte, si comparamos la nanofiltración con la osmosis inversa, la primera presenta un grado moderado de eliminación de iones monovalentes (sodio y cloruro), esto no representa mayor problema si previo a la nanofiltración el suero se somete a un proceso de desmineralización adecuado.

Figura 3.10. Unidad de nanofiltración industrial. (Lenntech, USA LLC 2020)



EVAPORACIÓN DE LACTOSUERO

La evaporación consiste en remover un porcentaje dado de humedad (agua más trazas de sólidos) para lograr un lactosuero concentrado. La evaporación es necesaria si se pretende obtener lactosuero en polvo como producto final antes del secado por aspersión. En la evaporación el desafío es remover tanta humedad como sea posible, de forma eficiente. Puede realizarse utilizando electricidad o vapor como medio de calentamiento, según la fuente más rentable y lo que sea más fácil de conseguir en la planta de tratamiento de suero.

Otro desafío considerable es lograr el intercambio uniforme de calor en toda la extensión de los tubos del evaporador para evitar la incrustación y/o bloqueo de los tubos. Para esto se debe calcular la velocidad del vapor y el porcentaje de humedad, así como ajustar la temperatura de manera precisa para evitar que el producto se dañe. Se debe tomar en cuenta la viscosidad del producto a la entrada y a la salida del evaporador para realizar los ajustes de temperatura necesarios y determinar el perfil en cada efecto del evaporador.

La evaporación al vacío hace posible la obtención de un producto concentrado con un alto contenido de proteínas séricas, para lograr un alto rendimiento y valor agregado para el producto final, los diseños con mayor éxito son los que implican inyección de vapor directa (DSI – Direct Steam Injection) por sus siglas en inglés. El DSI permite cambiar la temperatura del producto rápidamente y volver a refrigerarlo con daños leves en el producto, esto brinda un decremento de la posible carga microbiológica inicial y alarga el tiempo de vida útil del concentrado obtenido.

VARIABLES CRÍTICAS DE PROCESO DE EVAPORACIÓN DEL LACTOSUERO

Durante el proceso de evaporación se deben considerar las variables de proceso que son críticas para lograr un producto óptimo de forma eficiente. Para mantener un proceso de evaporación eficiente, una referencia operativa es apearse a las guías de proceso listadas en la tabla 3.6, las cuales han sido determinadas en corridas prácticas de secado de suero leche y pueden servir como base para la implementación de nuevos procesos para suero estandarizado o enriquecido.

Tabla 3.6. Variables críticas de proceso de evaporación de lactosuero.

Guías de Proceso	<ul style="list-style-type: none"> - Nunca exceder los límites de temperatura especificados para el primer efecto del evaporador, con esto se evitará la desnaturalización de proteínas de lactosuero. - Determinar con muestreo microbiológico las condiciones de limpieza (tiempo, caudal, concentración de solución ácido/base) para asegurar la adecuada remoción de materia orgánica y depósitos de residuos en los tubos de evaporación, líneas y equipos de proceso. - Llevar un adecuado control y monitoreo de vacío y temperatura, y mantener el perfil de temperatura óptimo, realizando ajustes eficientes del control de vacío. - Mantener con una variación mínima la temperatura de salida del concentrado en la descarga del evaporador.
------------------	--

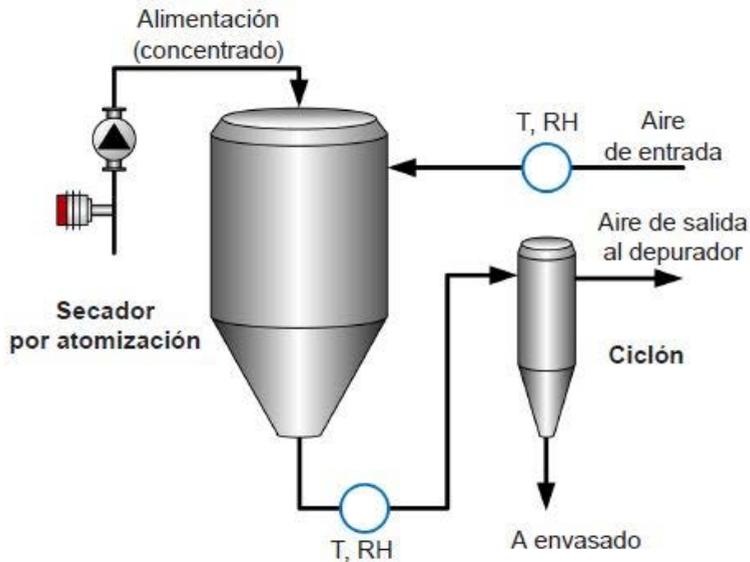
SECADO POR ASPERSIÓN

Esta tecnología permite mediante la reducción de humedad, la obtención de un producto granular a partir de la alimentación de un material líquido concentrado. Esta operación unitaria se basa en la atomización de un producto a través de uno o varios aspersores, generando de esta forma pequeñas microgotas, las cuales entrarán en contacto con una corriente de aire caliente (entre 150 °C a 300 °C) en la cámara de secado y son pulverizadas; para esta aplicación, el flujo de aire caliente actúa como medio para la eliminación de agua y fluido de transporte del polvo. El área de contacto del producto con el aire caliente es crítica con respecto al rendimiento y calidad de secado. Las condiciones de proceso, temperatura de entrada y salida de aire, temperatura de alimentación, temperatura de salida del polvo, diámetro de gota, velocidad de aire, etcétera; determinan las propiedades del producto final. Finalmente, el polvo obtenido se somete a un proceso de post- secado y enfriado, así como tamizado y envasado. Los principales beneficios del secado por aspersión son: la preservación de alimentos y al mismo tiempo mantiene las propiedades fisicoquímicas del producto. En el tabla 3.7 se mencionan las variables críticas que sirven como referencia para el control de proceso en cada una de sus etapas. En la figura 3.11 se muestra el diagrama de flujo de proceso de secado por aspersión.

Tabla 3.7 Variables críticas del proceso de secado por aspersión.

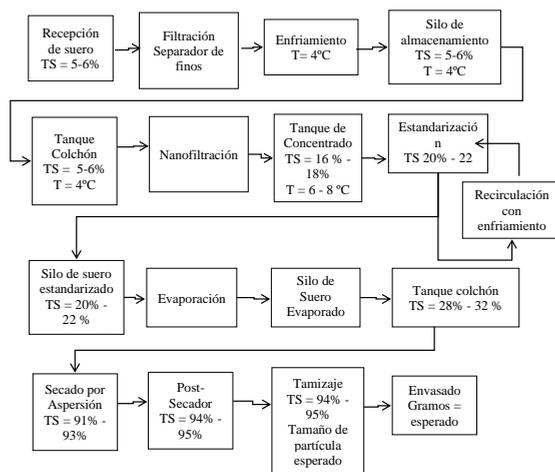
Etapa	Descripción
Mezclado	El flujo concentrado es mezclado con un flujo de aire caliente mientras desciende por la cámara de secado. El pequeño diámetro del producto atomizado produce una gran área de contacto entre la superficie del producto y la corriente de aire caliente.
Secado	La transferencia de humedad del producto en contacto con el aire caliente tiene como resultado partículas de polvo (producto granular) y una corriente de aire húmedo frío. Este fenómeno es casi instantáneo ya que el área de secado entre producto y aire caliente es extensa.
	Separación de las partículas de polvo del flujo de aire caliente

Figura 3.11. Secador por aspersión (SEITA SAS, 2021). Donde T es temperatura y RH humedad relativa



Finalmente, la integración de los procesos citados para el procesamiento del lactosuero se presenta en una esquematización como diagrama de flujo en la figura 3.12. En este diagrama se toma en consideración el proceso de nanofiltración, evaporación y secado por aspersión, como complementarios para lograr ya sea de manera conjunta o por separado una calidad y características de suero según las necesidades de los clientes o de los productores.

Figura 3.12. Diagrama de flujo del procesamiento de suero de leche.



La conservación del suero lácteo es un factor crucial para el aprovechamiento y/o tratamiento de este, es así que el tiempo de vida de anaquel del suero lácteo se beneficia llevándolo de líquido a polvo; sin embargo, cuando esto no es posible y se desea utilizar como materia prima en fase líquida, se recomienda la conservación en frío (menos de 4 grados C) durante su almacenamiento, al igual que la adición de benzoato de sodio para bajar el pH y controlar el crecimiento bacteriológico.

Un criterio a tomar en cuenta para su conservación es la cuenta microbiana, este parámetro se recomienda considerarlo de igual forma que la leche pasteurizada, por lo tanto, después de un muestreo microbiológico la cuenta debe ser menor a 30,000 col/ml. Si esto no es así, representa que el suero lácteo no es apto para su uso como alimento o ingrediente de alimentos.

El tiempo de vida de anaquel en fase líquida depende de su conservación (temperatura y Ph), puede ir desde las 8 hr a temperatura ambiente, hasta los 3 meses a menos de 4 grados centígrados y control de pH con benzoato de sodio.

Por su parte el suero de leche en polvo, por sus características y baja cantidad de humedad tiene una vida de anaquel más prolongada.

Cuando hablamos de un suero que previamente tuvo un tratamiento térmico como pasteurización y/o evaporación, que posteriormente fue reconstituido y secado, estamos alargando la conservación de éste.

El suero en polvo puede durar en condiciones óptimas de 24 hasta 36

meses con una humedad controlada (no mayor a 4%) en empaque cerrado y presurizado con gas inerte.

3.8 Conclusiones

Este capítulo tuvo el objetivo de mostrar una introducción a los procesos industriales convencionales de transformación y conservación de la leche, más adelante habrá oportunidad de contrastar los procesos industriales mostrados con otros tratamientos innovadores, con los procesos artesanales por medio de los cuales se elaboran productos lácteos tradicionales en nuestro país. Se presentaron los principales procesos que la leche sigue para su conservación, la pasteurización y el secado; estos procesos permiten alargar su vida útil, en el caso de las leches pasteurizadas con un alcance de 4 semanas y en el caso de la leche en polvo hasta 1 año o más; mientras que para el queso de entre 3 y 9 días dependiendo de la temperatura de almacenamiento; la mantequilla alcanza una vida útil de hasta 12 meses y el yogur de 28 a 45 días dependiendo de la tecnología utilizada y finalmente el suero dependiendo de su presentación va desde las 8 horas hasta los 36 meses.

La transformación en mantequilla, yogur o queso igualmente favorece la disponibilidad de los nutrimentos de la leche en diversidad de presentaciones, así como usos y formas de consumo. Cada tecnología revisada, parte de la máxima calidad de la leche como materia prima y requiere de manejos y pretratamientos de ella semejantes para obtener a su vez una óptima calidad de productos y de rendimientos. Termina este capítulo mostrando una alternativa tecnológica para aprovechar el lactosuero, el que es tan nutritivo como la leche.

3.9 Bibliografía

- Bernard, N.R.P.B.Fr.L.N.R.J.C., 1994. *Quesos del mundo*, Primera Ed. ed. Editorial Limusa S.A. de C.V.
- Božanić, R., I., B., Lisak, K., Jakopović, K.L., L., T., 2014. *Possibilities of Whey Utilisation*. J Nutr. Food Sci 2, 7.
- CODEX ALIMENTARIUS, 1995. *Norma para los sueros en polvo*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Organización Mundial de la Salud.

- Condony Salcedo, R., Mariné Font, A., Rafecas Martínez, M., 1988. *Yogur: Elaboración y valor Nutritivo*, Serie “Div. ed. Fundación Española de la Nutrición. Unidad de Nutrición y Bromatología, Departamento de Ciencias Fisiológicas Humanas y de la Nutrición. Universidad de Barcelona, Madrid, España.
- Early, R., 1992. *The technology of dairy products*. VCH Publishers, New York, NY.
- Food and Drug Administration Department of Health and Human Services., 2017. CFR - Code of Federal Regulations Title 21, Chapter I, Part 184.
1979. Whey. Food and Drug Administration Department of Health and Human Services.
- Madrid Vicente, A., 1996. *Curso de Industrias Lácteas*, Primera. ed.
- NMX-F-700-COFOCALEC-2004, 2004. NMX-F-700-COFOCALEC-2004 *Sistema producto leche; vaca, leche cruda; especificaciones fisicoquímicas, sanitarias y métodos de prueba*. Mexico.
- NOM-243-SSA1-2010, 2010. 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*. México.
- NMX-F-703-COFOCALEC-2012. *Sistema Producto Leche-Alimentos-Lácteos-Leche y Producto Lácteo (o Alimento Lácteo)-Fermentado o Acidificado-Denominaciones, Especificaciones y Métodos de Prueba*. Declaratoria de vigencia publicada en el Diario Oficial de la Federación el 20 de marzo de 2014.
- Pooter, N.N., Hotchkiss, J.H., 1995. *Food Science*, 5th editio. ed. Chapman and Hall, New York, NY.
- Secretaría de Economía, Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación, 2018. Norma Oficial Mexicana NOM-181-SCFI/SAGARPA-2018, *Yogurt-Denominación, especificaciones fisicoquímicas y microbiológicas, información comercial y métodos de prueba*. Dirección General de Normas, Ciudad de México.
- Tamime, A.Y., Robinson, R., 1991. *Yogur ciencia y tecnología*. Editorial Acribia, España.
- Tetra Pak, 2005. *Dairy Processing Handbook*.
- Walzem, R., Dillard, C., German, J., 2002. *Whey components: millennia of evolution create functionalities for mamalian nutrition: what we know and what we may be overlooking*. Crit Rev Food Sci 42, 353–375.

Capítulo 4

Innovación tecnológica. Aplicaciones de alta presión hidrostática y ultrafiltración en leche y derivados

Jacobo-Suárez, Ángela^{1}
Chombo-Morales, María P.²
Estarrón-Espinosa, Mirna³
Jordi-Saldo, Periago⁴
García-Fajardo, Jorge A.⁵
Prado-Ramírez, Rogelio⁶*

4.1 Introducción

En el sector alimentario, las tendencias de los consumidores actuales, a nivel global, se encaminan hacia la elección y el reconocimiento del tipo de alimento, su proceso de elaboración, su disponibilidad en el mercado, sus características sensoriales, con aditivos o ingredientes que lo hacen “especial” para el consumidor (por ejemplo: libre de aditivos, bajo en sodio, sin azúcar, libre de gluten, alto en proteína, libre de lactosa, etcétera).

¹ Biotecnología Industrial. Sede Zapopan. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A. C. (CIATEJ). Camino Arenero 1227, El Bajío, 45019 Zapopan, Jal. México. asuarez@ciatej.mx. * Corresponding author.

² Tecnología Alimentaria. Sede Zapopan. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ). Camino Arenero 1227, El Bajío, 45019 Zapopan, Jal. México. pchombo@ciatej.mx.

³ Tecnología Alimentaria. Sede Zapopan. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ). Camino Arenero 1227, El Bajío, 45019 Zapopan, Jal. México. mestarron@ciatej.mx.

⁴ GRINTAL, CIRTTA-UAB. Departamento de Ciencia Animal y de los alimentos. Universitat Autònoma de Barcelona. Jordi.Saldo@uab.cat.

⁵ Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A. C. (CIATEJ). Sede Noreste. Vía de la Innovación 404. Autopista Mty-Aeropuerto Km 10, Parque PIIT. C.P. 66629. Apodaca, Nuevo León, México jgarcia@ciatej.mx.

⁶ Tecnología Alimentaria. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C., Av. Normalistas No. 800, Col. Colinas de la Normal, Guadalajara, Jalisco, México. Investigador honorario. bass58@icloud.com.

Con este marcado comportamiento, la innovación en el sector de alimentos es urgente, y de esta forma, es momento de tomar acciones, a través de la búsqueda de la disponibilidad de infraestructura adecuada, insumos estratégicos, competencia comercial, generación de conocimiento individual y organizacional, para generar desarrollos tecnológicos e innovación potenciales en sectores como el agroindustrial, el biotecnológico y de los alimentos.

Es entonces que, se presentan nuevos desafíos para la industria de los alimentos, en ese sentido, se están explorando nuevas técnicas encaminadas a responder las demandas de los consumidores a través de los estudios de nuevos procesos emergentes no térmicos de conservación, como por ejemplo: los pulsos o campos eléctricos y magnéticos de alta intensidad, ultrasonidos, campos magnéticos, pulsos de luz, radiación ionizante, esterilización con plasma, el uso de altas presiones hidrostáticas, homogeneización a alta presión, dióxido de carbono presurizado, ultrafiltración, uso de aditivos naturales, agentes antimicrobianos o enzimas. Algunos han sido estudiados, otros en evaluación y otros ya cuentan con aprobación de la FDA. En este Capítulo, abordaremos especialmente las tecnologías de altas presiones hidrostáticas y la ultrafiltración aplicada a productos lácteos y derivados como experiencia de nuestro grupo de trabajo.

La leche forma parte de la dieta del consumidor mexicano ya sea como leche fresca o como uno de los diferentes alimentos derivados como queso, crema, yogur, mantequilla, etcétera; a la vez, un subproducto lácteo que ha cobrado cada vez más importancia para recuperar compuestos de alto valor nutrimental y económico es el suero de quesería, llamado también lactosuero.

El efecto del procesamiento con altas presiones sobre la calidad e inocuidad de los lácteos es un tema de gran interés desde hace varias décadas. Este campo de investigación busca desplazar a los tratamientos térmicos por procesos menos severos, que permitan la conservación de las propiedades nutrimentales y sensoriales de los alimentos, pero a la vez eliminar el riesgo sanitario y mantener la vida útil que se logra con los tratamientos con calor.

Por otra parte, en el campo de la tecnología alimentaria, el procesamiento de diferentes tipos de leche, de derivados y de lactosuero, ha involucrado la aplicación y el estudio de una serie de operaciones de

transformación y de separación, tales como la centrifugación, la filtración, la transferencia de calor y evaporación, entre otras. Destaca entre estas operaciones unitarias la filtración, que se ha convertido en una poderosa herramienta tecnológica con la inclusión de membranas como elementos filtrantes, lo que ha dado lugar a la llamada Tecnología de Membranas. En los últimos 30 años, se ha considerado que la tecnología de membranas es capaz de realizar la separación de cada componente de la leche basando esto en su tamaño de partícula y en su peso molecular, así como en la manera de aplicar tales técnicas de filtración.

4.2 Aplicación de la tecnología de alta presión hidrostática (APH) en lácteos

La leche, es un producto lácteo que, usualmente pasa por un tratamiento térmico previo a su comercialización para obtener un producto seguro y con una vida de anaquel aceptable. De acuerdo al Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera del gobierno de México, en su reporte de la producción y envasado de leche líquida, derivados y otros productos (SIAP, 2018), la elaboración de derivados y fermentos lácteos va en crecimiento, por ejemplo destaca el yogurt para beber el cual pasó de una producción en 2009 de 296 mil toneladas a 351 mil toneladas, la misma tendencia se observó en los quesos frescos, área que incrementó su producción de 41 mil toneladas (2009) a 79 mil (2014), lo que significa un importante incremento en los derivados en el período 2009-2018.

El tratamiento térmico, ha sido hasta el momento la tecnología mayormente usada en el tema de conservación, sin embargo, actualmente se encuentran tecnologías maduras o en desarrollo donde el empleo de altas temperaturas no es la principal condición utilizada para asegurar la estabilidad de los alimentos, tal es el caso de la Alta Presión Hidrostática (APH o HPP por su acrónimo en inglés). Esta tecnología presenta una gran ventaja a nivel nutritivo y sensorial de los productos tratados en comparación con las tecnologías térmicas.

4.2.1 Alta presión hidrostática (APH)

En 1990, se introdujo en el mercado japonés el primer alimento procesado por APH, que consistía en una mermelada de fruta. Recientemente, otros

productos procesados por APH han sido lanzados al mercado, entre los que se incluyen ostras en Estados Unidos, zumo de naranja en Francia y salsa guacamole en México (Huppertz *et al.*, 2002). Es una tecnología aprobada por la FDA, que presenta una diversidad de aplicaciones comerciales en la actualidad. Además, según el estudio llevado a cabo por Jermann *et al.* (2015), revela que la alta presión hidrostática (80%), microondas (88%) y UV (84%) fueron las principales tecnologías aplicadas actualmente y con un futuro prometedor para los próximos cinco años.

La alta presión hidrostática (APH) es la tecnología en la cual un producto se somete a presiones de entre 400 y 600 MPa y temperaturas menores de los 45°C. La presión se transmite de forma uniforme (isostática), y de forma casi instantánea a todos los puntos del alimento, independientemente de su tamaño y forma. Esto permite obtener productos muy homogéneos, sin zonas sobre-tratadas. Además, una vez que se alcanza el valor de presión deseado, no hay pérdidas de energía ni, consecuentemente, requerimientos energéticos. Los fenómenos de presurización por APH están regidos por dos principios fundamentales: el primero, que corresponde al principio de la isostática, establece que los cambios de presión son prácticamente instantáneos y uniformes, independientemente del volumen y la geometría de la muestra; el segundo, el principio de Le Chatelier, el cual postula que todo fenómeno que va acompañado de una disminución de volumen se ve favorecido por la presión, y viceversa (Huppertz *et al.*, 2002). Además, la presión y la temperatura determinan muchas propiedades de las sustancias inorgánicas y orgánicas. Un tercer principio es el del ordenamiento microscópico, donde a condiciones de temperatura constante, hay un aumento de presión aumenta el grado de orden de las moléculas de una sustancia dada. Por tanto, si una sustancia es expuesta a una presión creciente, pueden producirse cambios en la sustancia, especialmente a presiones de varios cientos de MPa, como puede ocurrir con el incremento de la temperatura en los procesos térmicos. En general, pueden ocurrir cambios asociados con la reducción del volumen durante la aplicación de APH (Huppertz *et al.*, 2002).

El tratamiento por presión puede realizarse a temperaturas considerablemente más bajas que los tratamientos por calor, incluso a temperaturas de refrigeración y congelación (Guamis López *et al.*, 2005). La mayor ventaja de esta tecnología es la reducción significativa o eliminación del uso de calor, con lo que se evita la degradación térmica de

los componentes del alimento y como consecuencia que se produce una retención del sabor original, del color y del valor nutricional del alimento tratado. La uniformidad del tratamiento durante la aplicación de la APH reduce apreciablemente la necesidad de utilización de aditivos químicos, e incrementa la potencialidad para la creación de nuevos productos, debido a la generación de nuevas apariencias, texturas, sabores y propiedades funcionales (Huppertz *et al.*, 2002). Otra ventaja tecnológica de las altas presiones es su capacidad de procesar de manera uniforme alimentos líquidos o sólidos (que contienen agua), independientemente de la masa y el tiempo, inclusive en su empaque final (Makhal *et al.*, 2003).

4.2.2 *El equipo de alta presión hidrostática*

De manera general, el módulo de proceso de APH, contiene los siguientes componentes: Primero, un cilindro de presurización, que es un recipiente de doble pared donde se coloca el alimento y se realiza el tratamiento por lotes alcanzando presiones de 600-800 MPa. El producto generalmente se encuentra en un envase flexible del cual se ha eliminado el aire, y queda rodeado de un fluido transmisor de presión, que generalmente es el agua. Segundo, un sistema de generación de alta presión, con intensificadores basados en sistema de bombeo electrohidráulico, éste presuriza el recipiente aumentando la presión de trabajo adecuada para el tratamiento. Una vez iniciado el proceso transmite la presión en toda la masa del alimento independiente de su forma o tamaño. Tercero, un sistema de enfriamiento, debido a que al aumentar la presión dentro del aparato se produce un aumento de temperatura de aproximadamente 2-3°C cuando se utiliza agua a 20°C por cada 100 MPa. El calor generado se elimina a través de este sistema de refrigeración, manteniendo el producto a una temperatura estable.

Algunas compañías que fabrican este tipo de equipos a nivel laboratorio y piloto (desde los 0.5 a 2 L) e industrial (capacidad de 35-350 L) son las siguientes: Avure (USA), Hiperbaric ® S.A. (Burgos, España), Stanted Fluid Power Ltd. (U.K.), ACB Pressure System-Alstom Hyperbar (Francia), Kobe Steel (Japón), Uhde (Alemania), Multivac (Australia), Baotou KeFa (China) entre otras (figura 4.1). La desventaja principal de la tecnología es que el procesado es por lotes y sólo cuando se conectan dos o más cámaras en continuo se puede considerar como un proceso semi-continuo.

Figura 4.1 El sistema de altas presiones discontinuo para el tratamiento de alimentos envasados: Fuente: Hyperbaric, Burgos, España. www.hiperbaric.com.



En la actualidad esta tecnología es reconocida en todo el mundo y se ha convertido en una herramienta muy útil para las empresas exportadoras. De acuerdo con la información de Vision Gain en 2015, entre las empresas que cuentan con el equipo de alta presión en México se encuentran Calavo Growers, Cupanda, Frozavo, Verfruco, Villa de Patos y Jumex. El costo del equipo ha sido la primera barrera para su adopción en varias compañías, sin embargo, la tendencia del incremento de la demanda por productos seguros y frescos es el principal motor para su futura incorporación en más compañías.

4.3 Aspectos de seguridad de la APH: La inactivación microbiana en productos lácteos y derivados

La resistencia de los microorganismos a la presión en los alimentos es muy variable y está en función de las condiciones de procesamiento en el sistema de alta presión (presión, tiempo, temperatura, ciclos, etcétera). En este tratamiento, la inactivación microbiana, es causada por una desnaturalización de enzimas, modificaciones en la membrana y la pared celular de los microorganismos, que afectan su viabilidad. Los tratamientos también pueden provocar cambios en la morfología y los mecanismos genéticos de los microorganismos (de Lamo-Castellví S. Capellas M. Lopez-

Pedemonte T. Hernández-Herrero M. M. Guamis B., Roig-Sagués, 2005). Referente a la sensibilidad, los parásitos, los mohos y las levaduras son muy sensibles, mientras que los virus suelen presentar una alta resistencia al tratamiento. Las células vegetativas son más sensibles que las esporas, las bacterias Gram positivas son más resistentes que las Gram negativas y los cocos, y a su vez, son más resistentes que los bacilos. Todas las células en fase de crecimiento exponencial son más barosensibles que las células en cualquier otra fase de crecimiento (de Lamo-Castellví S. Capellas M. Lopez-Pedemonte T. Hernández-Herrero M. M. Guamis B., Roig-Sagués, 2005; Gervilla *et al.*, 1999; T. López-Pedemonte *et al.*, 2007). Las esporas son las células vegetativas más resistentes, pues alcanzan a sobrevivir presiones de 1000 MPa.

Para evaluar la efectividad de los tratamientos a condiciones de entre 100 a 700 MPa de un producto lácteo, se han realizado estudios de la inactivación de microorganismos específicos en leche y queso, con microbiota endógena y patógenos. Para ello, se han utilizado los estudios tipo *challenge test* o reto microbiano, donde el microorganismo a evaluar es inoculado a propósito en la matriz de estudio a validar, este tipo de evaluación también se realiza en los laboratorios de CIATEJ. Algunos ejemplos incluyen, microorganismos de importancia en el sector lácteo, tales como: *Escherichia coli*, *Pseudomonas fluorescens*, *Clostridium sporogenes* (ATCC 7955), *Pseudomonas spp.*, *Listeria innocua*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* o *Lactobacillos helveticus*, *Bacillus cerus*, han sido sujeto de evaluación en tratamientos por APH (Capellas *et al.*, 2000; Evert-Arriagada *et al.*, 2012; Gervilla *et al.*, 1999; T. J. López-Pedemonte *et al.*, 2003; Shao & Ramaswamy, 2011). Algunos retos microbianos se han realizado en los siguientes quesos tratados por APH: Cheddar, gorgonzola, mató, edam, hispánico (Alonso *et al.*, 2011; Capellas *et al.*, 2000; Carminati *et al.*, 2004; O'Reilly *et al.*, 2000; Reys *et al.*, 2009).

En queso elaborado con leche cruda, se ha evaluado el efecto combinado del uso de APH y bacteriocinas de BALs para inactivar *Escherichia coli* O157:H7, donde la aplicación de presiones reducidas (300 MPa) combinadas con las bacteriocinas resultó un procedimiento factible para mejorar la seguridad del queso (Rodríguez *et al.*, 2005). El impacto de la APH sobre la inactivación de *Lactococcus* y levaduras de descomposición se evaluó a diferentes tratamientos (200, 300, 400 y 600 MPa). Se observaron

reducciones de cuentas de *Lactococcus* en función de la presión aplicada. Por otro lado, el tratamiento a 200 MPa no previno el crecimiento de levaduras, pero en muestras sometidas a presiones ≥ 300 MPa, se controló el crecimiento hasta por 8 semanas.

Con el avance de las investigaciones, se ha podido vislumbrar que el uso de APH posibilita obtener un producto seguro para el consumidor, manteniendo la calidad y el prestigio de una marca que lo elabora. Por tanto, es posible que los productos lácteos mexicanos puedan ofrecer un valor agregado al poder ser etiquetados como productos libres de conservadores, 100% naturales y en dado caso, libres de aditivos.

4.4 Efecto de APH en la composición y propiedades fisicoquímicas de los lácteos

Las investigaciones en torno al impacto de la tecnología sobre un alimento continúan en la búsqueda de optimizar las condiciones de tratamiento. Por ejemplo, condiciones entre 400 y 600 MPa pueden inactivar microorganismos patógenos comunes en los productos lácteos como se presentó en el apartado anterior, pero de igual forma, la flora láctica responsable de los aromas, la textura y la funcionalidad de productos como quesos y yogures, también se pueden modificar. Inclusive, algunos reportes han evidenciado que ciertos microorganismos pueden recuperarse durante el almacenamiento. Para valorar la efectividad del tratamiento con APH hay que observar su efecto sobre las biomoléculas que constituyen las membranas y paredes celulares de los sistemas biológicos como los microorganismos y la matrices alimentarias (Ankit Goyal, 2013). En este apartado se revisará particularmente cómo se modifican los hidratos de carbono y las grasas provocando la alteración.

4.4.1. Impacto sobre los carbohidratos (lactosa y almidones)

En la composición de la leche y de sus derivados, el carbohidrato natural es la lactosa, una molécula conformada por glucosa y galactosa. Cuando se ha estudiado el efecto de la APH en la lactosa, no se han observado cambios después de la aplicación de tratamientos dentro de un rango de 100 a 400 MPa durante 10-60 min a 25 °C, lo que sugiere que no se producen cambios en su estructura y no se genera la isomerización, tampoco se detectó una

reacción Maillard, evidenciada por el cambio de color en los productos, como normalmente se observarían con tratamientos térmicos severos (Chawla *et al.*, 2011; Liepa *et al.*, 2016).

Por otra parte, aunque la leche no es una fuente de carbohidratos complejos, algunos derivados como las cremas, los yogures y los quesos industriales llevan en su composición espesantes o derivados de almidones y gomas como xantana, guar, entre otras, por lo que en el desarrollo de productos que incluyan el tratamiento por altas presiones, resulta importante conocer su efecto sobre estos biopolímeros y su impacto en la calidad del producto. En el caso del almidón se ha observado el impacto de las altas presiones a nivel molecular, para comenzar estos tratamientos físicos modifican la forma en la que se estructuran y organizan los gránulos de almidón; además, parecieran comprimir la estructura de la glucosa misma, favoreciendo la forma de silla de la molécula; también se ha observado que los enlaces intramoleculares y las fuerzas electrostáticas como las de Van der Waals, de las cadenas de glucosa del almidón, que conforman la amilosa o la amilopectina, se acercan, dando lugar a estructuras más compactas, más estables, pero por otro lado inducen una más rápida retrogradación (Zhi-guang *et al.*, 2020).

4.4.2. Efecto sobre las grasas

El efecto del tratamiento con altas presiones sobre la grasa de la leche es relativamente ligero, porque cuando se utilizan presiones menores a 500 MPa a 25 y 50 °C se observa la disminución del tamaño de los glóbulos de grasa y un aumento en el número de pequeños glóbulos menores a 1-2 μm , haciendo más estable el sistema, inclusive el efecto en la fase grasa es reversible cuando el producto se almacena a 4°C. La membrana del glóbulo de grasa de la leche que lo protege de la oxidación y de la acción de lipasas en la leche o en productos altos en grasa, no se ha visto dañada por los tratamientos de APH, por lo que la reversibilidad y la capacidad de formar glóbulos minúsculos ante estos tratamientos, se atribuyen a la capacidad de la membrana de agregarse y desagregarse. Por otra parte, otras investigaciones han mostrado que el contenido de ácidos grasos libres (AGL) en leche tratada por APH es más bajo que en la leche cruda fresca, lo cual resulta de mucho interés observar que no hay riesgo de la producción de sabores desagradables debidos a la aplicación APH, que de

otro modo se desarrollan debido a eventos de rancidez lipolítica en la leche (Ankit Goyal, 2013).

4.4.3. *Efecto sobre las proteínas*

En revisiones de varios autores sobre este tema coinciden que la APH modifica de manera específica el estado nativo de las proteínas. Se ha reportado que la estructura cuaternaria, la terciaria y la secundaria pueden alterarse y en menor medida la estructura primaria (la cadena de aminoácidos) (Ankit Goyal, 2013; Balny *et al.*, 2002; Liepa *et al.*, 2016; S. *et al.*, 2016). Las investigaciones han mostrado que estas modificaciones se deben al efecto de la presión sobre los enlaces covalentes, los puentes disulfuro y otras interacciones electrostáticas que contribuyen a sostener la conformación de las proteínas, como también los puentes de hidrógeno e interacciones hidrófobas, de ahí que la sensibilidad a la presión o temperatura varía con el tipo de enlaces que mantienen la estructura proteica del sistema (Ankit Goyal, 2013).

Cuando el tratamiento de APH no es severo y se aplica a bajas temperaturas (0-40 ° C), los enlaces covalentes casi no se ven afectados, por lo que la estructura primaria de las proteínas no se altera. Sin embargo, la presión extrema afecta progresivamente la estructura cuaternaria. La presión ejercida dentro de un rango de 100 a 300 MPa, ocasiona que estos cambios sean reversibles, pero las presiones > 300 MPa pueden provocar la desnaturalización irreversible de las proteínas de la leche, de hecho, la mayoría de las proteínas se desnaturalizan a presiones superiores de 400 MPa (Ankit Goyal, 2013).

La caseína parece ser relativamente estable ante el tratamiento por altas presiones. Es la proteína mayoritaria de la leche, responsable de su color blanco, es insoluble, pero se encuentra ensamblada en forma de micelas con sus diferentes tipos (α s1, α s2-, β - y κ -caseína) y materia inorgánica (calcio y fósforo), lo que le permite mantenerse en estado coloidal, gracias a interacciones electrostáticas. Cuando se ha sometido a una presurización ≤ 200 MPa at 20 °C se ha observado un ligero incremento en el tamaño y número de micelas, probablemente debido a que presenta escasas estructuras terciaria y secundaria; la estructura primaria no se ve afectada en tratamientos < 300 MPa, por el contrario, se mantiene su integridad micelar en el medio acuoso (Ankit Goyal, 2013; Chawla *et al.*, 2011).

Por su parte las proteínas del suero o también conocidas como proteínas solubles, como lo son la β -lactoglobulina (β -Lg) y la α -lactoalbúmina (α -La), han sido evaluadas después de su tratamiento con APH. Se ha observado que, estas proteínas son más lábiles a las altas presiones que las caseínas, dependiendo de la intensidad del tratamiento. La β -Lg es más sensible que la α -La, debido a que la primera sólo tiene dos enlaces disulfuro y un grupo $-SH$ libre, esto la hace menos rígida en comparación con α -La, ya que esta tiene cuatro enlaces disulfuro. En la tabla 4.1 se observa el nivel de susceptibilidad a la desnaturalización debida a las altas presiones comparada con el efecto por tratamientos térmicos de algunas proteínas del suero. Al ser biopolímeros multifuncionales, la actividad de las proteínas depende de su estructura, la pérdida de ésta puede tener impacto en el producto.

Tabla 4.1 Susceptibilidad a la desnaturalización de proteínas del suero de leche, debido a tratamientos por presión o por temperatura. Adaptado de (Ankit Goyal, 2013).

Proteína	Tratamiento por APH		Resistencia a la alta presión hidrostática
β - lactoglobulina	+++++	++	Menos resistente. Desnaturalización a partir de > 100 MPa; desdoblamiento e interacción con caseína; Desnaturalización de 70–80% > 400 MPa; poca desnaturalización entre 400–800 MPa
Immunoglobulinas	+++	+++++	Resistentes a 300 MPa; Desnaturalización 35 % a 500 MPa
α -lactalbumina	++	+	Muy resistente. Desnaturalización incipiente comienza >400MPa; ligera formación de agregados >1000MPa.
BSA	++	+++	Muy resistente < 400 MPa; ligera desnaturalización > 400 MPa
Lizosima			Muy resistente.
Lactoferrina			Muy resistente.

4.4.4 Efecto en la calidad en la textura de productos lácteos

Color. Al haber cierta modificación en la estructura de las micelas de caseína debida a las altas presiones, el color de la leche se ve afectado, pierde su color blanco y se vuelve amarillenta. Esto puede deberse a la reducción del tamaño de las micelas de caseína (Needs *et al.*, 2000), aunque cuando la leche es tratada dentro del rango de 300 a 676 MPa seguido por tratamiento térmico, su color blanco se recupera, lo que se explica por la naturaleza reversible de las micelas de caseína.

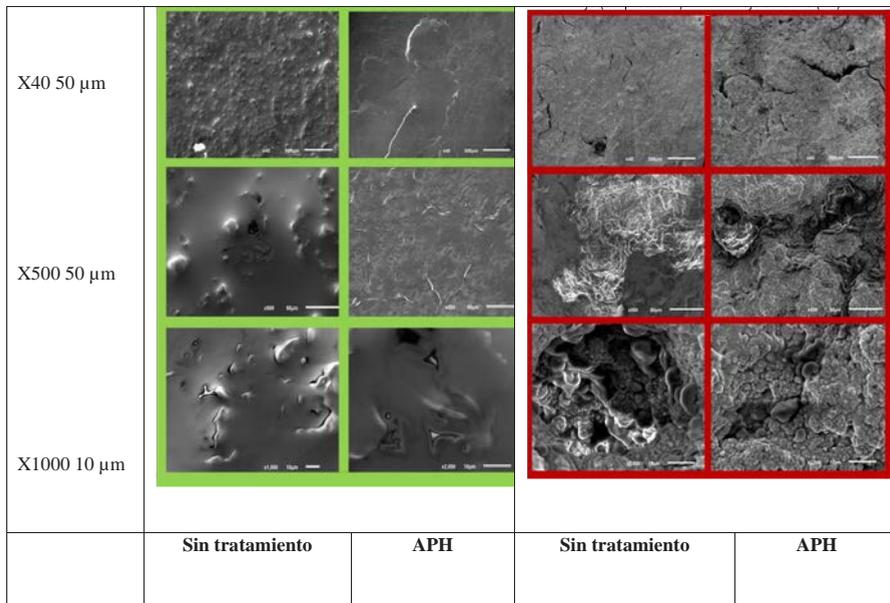
Sabor y aromas. Adicionalmente, se ha encontrado que las moléculas pequeñas como vitaminas, aminoácidos, simples azúcares simples y compuestos aromáticos no se ven afectados cuando los tratamientos de presión y temperatura son moderados, lo que favorece el perfil sensorial del producto, de ahí que los productos tratados por altas presiones se perciban como frescos (Evert-Arriagada *et al.*, 2013). Sin embargo, en quesos madurados se ha encontrado el desarrollo de lipólisis acelerada, derivada del aumento de ácidos grasos libres y la presencia de lipasas en la pasta fresca, factores que aceleran la generación de precursores de aromas.

Textura. Probablemente la textura sea el parámetro que más pueda verse alterado en los derivados lácteos como los quesos y los yogures, producido a partir de leche tratada por APH. Sin embargo, la caseína se muestra bastante resistente, lo que representa una ventaja al proceso de elaboración de quesos. De cualquier forma, es importante revisar el efecto de esta tecnología en su textura y sus propiedades viscoelásticas (Messens *et al.*, 1999). Si bien la leche tratada presenta una mejor calidad sanitaria y sensorial, que favorece la vida de anaquel y el perfil sensorial de los productos, cuando es utilizada para la elaboración de quesos.

Recientemente, en CIATEJ se condujo una investigación con varios tipos de quesos frescos y madurados, los cuales se sometieron a tratamiento hiperbárico. Uno de los objetivos del trabajo fue identificar los principales cambios en la textura y otros parámetros de calidad, provocados por el tratamiento. En la figura 4.2 se observan imágenes de la textura vista al microscopio electrónico de barrido (TVMEB) de dos tipos de queso: queso añejado, pasta dura, prensada y molido, y queso de pasta suave, no prensado, alto en grasa. Con respecto a la textura, los resultados indicaron ligeros

cambios no perceptibles a simple vista, que no fueron importantes en la evaluación de la tecnología, pues al ser valorados instrumentalmente, se observó que las diferencias correspondían más bien al tipo de queso que al tratamiento, sin embargo el color cambió ligeramente en el caso del queso fresco tratado por APH, el cual perdió luminosidad.

Figura 4.2 Fotografías vistas al TVMEB de queso pasta suave (encuadre verde) y queso añejado (encuadre rojo).



4.5 Impacto del procesamiento de APH en la composición volátil de productos lácteos

El sabor y aroma, son considerados entre los atributos más importantes de calidad que determinan la elección y consumo de los alimentos. En la construcción del sabor y aroma intervienen una gran variedad de compuestos no volátiles y volátiles, pertenecientes a diferentes familias químicas. En productos lácteos, estos compuestos están presentes en la leche cruda o se generan a través de la glucólisis, proteólisis y lipólisis durante la maduración de los quesos elaborados a partir de leches crudas

o también durante el procesado de la leche para lograr su inocuidad con la finalidad de consumirse directamente o para la obtención de otros productos lácteos. Se han identificado más de 600 compuestos volátiles en este tipo de productos, los cuales se asocian con notas de olor y aroma particulares (Calzada *et al.*, 2013). Entre los beneficios del procesamiento con APH a temperatura ambiente o temperaturas suaves, destaca que moléculas pequeñas como los componentes del sabor y aroma que contribuyen a la calidad nutricional y sensorial de los alimentos, no se ven significativamente afectadas (Jolvis Pou, 2021; Naik *et al.*, 2013). Diversas investigaciones se han enfocado al estudio de los efectos del tratamiento con APH sobre los componentes volátiles en leche y productos lácteos, en donde los quesos artesanales elaborados con leche de distintos orígenes para aumentar su vida útil, conservando sus cualidades sensoriales, se encuentran entre las de mayor interés.

4.5.1. *Efecto en la composición volátil de la leche*

Evaluando el efecto de la APH sobre el perfil volátil de leche a diferentes presiones, tiempos y temperaturas, Vazquez-Landaverde *et al.*, (2006) reportaron que a baja temperatura (25°C) se favoreció la formación de compuestos azufrados y aldehídos. Considerando la evolución sobre 27 compuestos volátiles, concluyeron que el procesamiento con APH a baja temperatura provocó cambios mínimos en la composición volátil de la leche. Por su parte, Hu *et al.*, (2017) aplicaron APH de ciclo único y múltiples e investigaron su efecto sobre los componentes del sabor en leche fresca de vaca utilizando una nariz y lengua electrónica. La variedad y concentración de los compuestos volátiles (principalmente de hidrocarburos alifáticos y ácidos) incrementaron después de los tratamientos, mostrando el potencial de la APH para acelerar la formación y aumentar la concentración de compuestos deseables del sabor en la leche. Igualmente, tratamientos de ciclo simple y doble a 600 MPa en leche entera y desnatada fueron comparados por Yang *et al.*, (2020). Se observaron reducciones en el contenido de ácidos grasos de cadena corta (C4: 0, C6: 0 y C8:0) en tratamientos de doble ciclo, mientras que en el tratamiento de ciclo único aumentaron la concentración de ácidos grasos de C4-C14. El nivel de 18 de 33 volátiles identificados en las muestras se vio afectado de forma diferenciada en cada tipo de leche tratada. De manera general los aldehídos, alcoholes, cetonas

y otros compuestos (ésteres, pirazina y cumeno), disminuyeron sus niveles respecto al contenido inicial en la leche sin tratamiento lo que generó nuevos componentes volátiles.

4.5.2. Efecto en la composición volátil de quesos

La aplicación de tratamientos con APH para alargar la vida de anaquel, así como acelerar o desacelerar principalmente la proteólisis o lipólisis en la elaboración de quesos con leche de diferente origen animal, y su efecto sobre su composición volátil e impacto sobre sus cualidades sensoriales son extensas (Ávila *et al.*, 2017; Chawla *et al.*, 2011; Deeth *et al.*, 2013; Jolvis Pou, 2021; Liepa *et al.*, 2016; Martínez-Rodríguez *et al.*, 2012; Trujillo *et al.*, 2002; Delgado *et al.*, 2012; Calzada *et al.*, 2013). Sin embargo, la información sobre la aplicación del procesamiento con APH en leche o productos lácteos mexicanos es aún limitada.

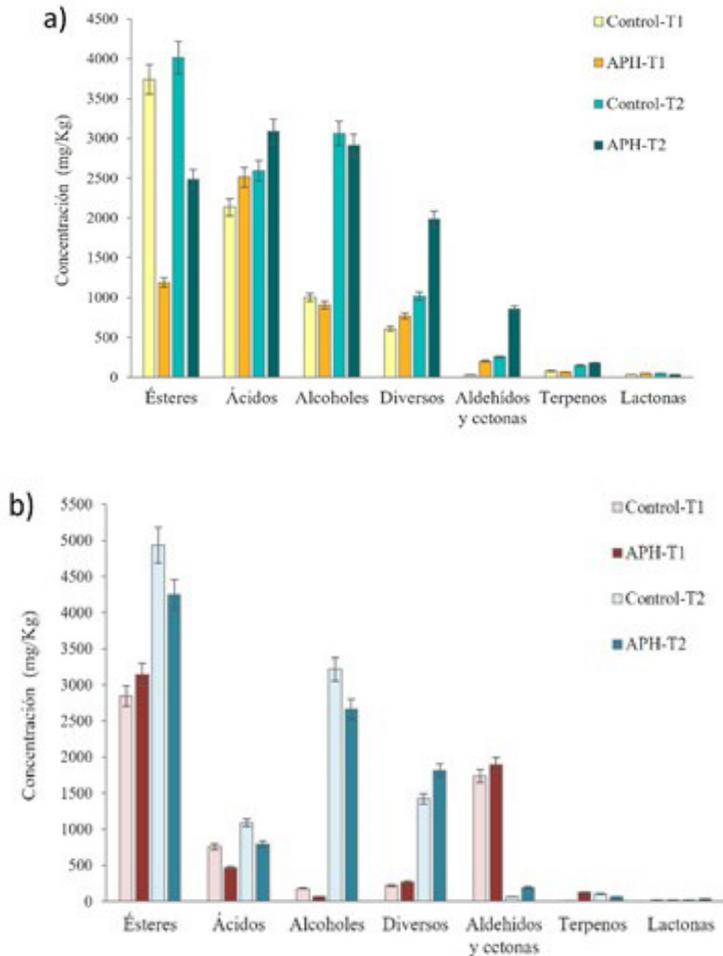
Sobre quesos mexicanos, Escobedo-Avellaneda *et al.*, (2021) investigaron el efecto de la acidificación antes y después del tratamiento con APH en diferentes niveles y tiempos (150, 300 y 500MPa; 10 y 30 min) en leche cruda de vaca para la elaboración de queso Oaxaca. Sin embargo, no reportaron información relativa a posibles cambios con respecto a sus características sensoriales. El queso fresco, un producto de alta humedad de gran consumo entre la población latina en Estados Unidos de América y México ha sido evaluado mediante APH por Van Hekken *et al.*, (2013). La evaluación de sabor permitió distinguir entre el queso sin tratar y los quesos tratados con APH (600 MPa, 3 o 10 min), pero no entre quesos tratados durante 3 o 6 min. Por su parte Evert-Arriagada *et al.*, (Evert-Arriagada *et al.*, 2012) informaron que el análisis sensorial no arrojó diferencias de sabor, aroma, ni se apreciaron sabores desagradables en quesos frescos tratados con APH (300 y 400 MPa, 5 min, 6°C) y quesos recién elaborados. En la misma línea, Sandra *et al.*, (2004), determinaron que el procesamiento a alta presión (400 MPa, 20 min, 20 °C) en queso fresco, no afectó significativamente sus atributos sensoriales después de 1 y 8 días de almacenamiento en refrigeración. Contrariamente, el queso fresco elaborado con leche tratada con APH y posteriormente almacenado, mostró diferencias en los atributos medidos, excepto en color. El tratamiento con APH permitió obtener productos sensorialmente aceptables con características de textura y composición similares al queso fresco tradicional elaborado con leche cruda.

4.5.3 *Efecto sobre el perfil volátil en quesos tradicionales mexicanos de alto consumo en el Occidente de México*

Recientemente en CIATEJ, dos tipos de quesos tradicionales de alto consumo en la zona Occidente de nuestro país, elaborados con leche cruda de vaca fueron evaluados con respecto al impacto del procesamiento con altas presiones hidrostáticas (APH-T1 y APH-T2) sobre su composición volátil. Utilizando microextracción en fase sólida, seguida de análisis cromatográfico (SPME-GC/MS), fue posible identificar 79 compuestos volátiles en un queso fresco de mesa de pasta suave rebanable (QMER) y 95 compuestos en un queso madurado de pasta dura desmoronable (QMAD) previo al tratamiento. En general, después de los tratamientos con APH, el contenido de alcoholes y ésteres mostró reducciones significativas, mientras que aldehídos, cetonas, ácidos y componentes volátiles de diversos incrementaron su concentración en el queso de mesa rebanable (figura 4.3).

Por otra parte, en el queso madurado los alcoholes, ácidos y ésteres disminuyeron su concentración (éstos últimos sólo bajo ciertas condiciones), aunado a un incremento de componentes volátiles diversos, aldehídos y cetonas después del procesamiento con APH. El estudio evidenció los diferentes cambios que puede experimentar la fracción volátil relacionada con la calidad aromática del queso después del tratamiento de APH. Estos cambios fueron afectados por el tipo de queso y su composición inicial (matriz láctea, lote, proceso de elaboración), cultivos iniciadores, así como por las condiciones del tratamiento utilizadas.

Figura 4.3. Perfiles cuantitativos de componentes volátiles de dos quesos mexicanos tratados con altas presiones hidrostáticas. (a) QMER, (b) QMAD. T1: tratamiento 1 con APH, T2: tratamiento 2 con APH.



La concentración, percepción e interacciones entre los compuestos responsables del aroma y los constituyentes no volátiles de las matrices lácteas, como grasas, proteínas, carbohidratos, aminoácidos y ácidos orgánicos entre otros, influyen en gran medida en el impacto sensorial global del sabor y aroma (Liu *et al.*, 2005), por lo que, a pesar de observarse alteraciones en la composición volátil de productos tratados con APH,

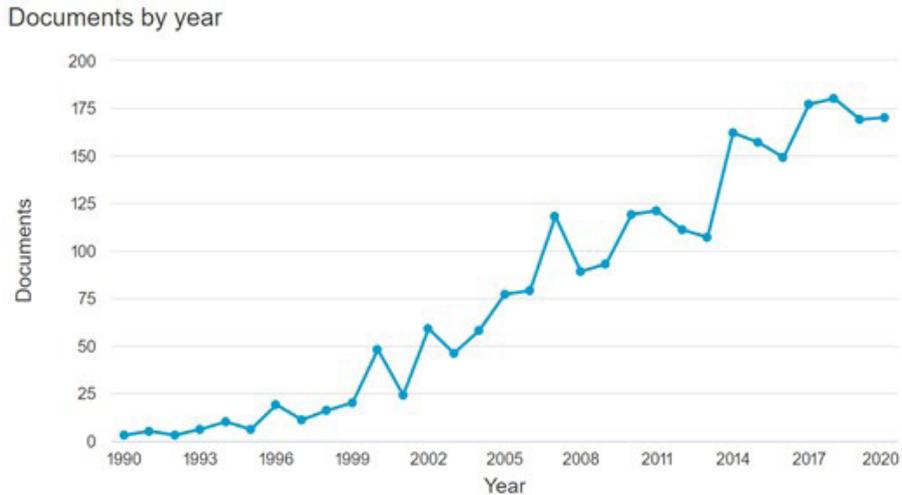
se ha concluido en diversas investigaciones realizadas en esta línea que, mientras se mantenga un equilibrio adecuado de compuestos de sabor, la percepción sobre la afectación en sus características sensoriales podrá no ser significativamente adversa con respecto a los productos sin tratar.

4.6 Perspectiva de I+D de la tecnología APH: inversión y nuevos desarrollos

El desarrollo de la tecnología de procesado de alimentos mediante alta presión ha ido superando distintos obstáculos hasta llegar al momento actual en que su uso se está popularizando, como veremos más tarde. La falta de información científica sobre el efecto de estas condiciones extremas sobre los microorganismos y los componentes de los alimentos han debido complementarse a lo largo del siglo pasado. Para conseguir mantener presiones elevadas se necesitan materiales especiales, sobre todo cuando se quieren procesar volúmenes elevados. La regulación de los productos tratados mediante alta presión ha supuesto también un freno al desarrollo. Estos aspectos serán revisados en esta sección.

Los primeros trabajos pueden remontarse a más de cien años. Ya en 1899 se publicaron los primeros informes sobre la conservación de leche mediante alta presión (Hite, 1899). También el premio Nobel P.W. Bridgman realizó en 1914 estudios sobre el efecto de la alta presión en proteínas de huevo (Bridgman, 1914). Estos estudios iniciales no tuvieron continuidad. Hasta el año 1975 prácticamente se mantuvo la inactividad investigadora en este ámbito, y no fue hasta 1999 en que se empezó a popularizar como tema de investigación (figura 4.4). Este aumento de publicaciones en el ámbito no ha dejado de crecer, con más de 250 publicaciones por año.

Figura 4.4. Evolución de las publicaciones sobre la aplicación de alta presión a alimentos. Fuente: SCOPUS



Uno de los limitantes para el desarrollo de la tecnología APH fue la ausencia de equipos fiables con elevadas prestaciones. Cuando se quiere aumentar la capacidad de los equipos las soluciones pasan por alargar el cilindro de compresión o aumentar su diámetro. El tener equipos más largos dificulta mucho las operaciones de carga y descarga, alargando el tiempo de procesado. El aumento del diámetro obliga a aumentar notablemente el grosor de las paredes para evitar su deformación y eventual rotura por fatiga de materiales, encareciendo también los equipos. El grosor de las paredes aumenta aproximadamente siguiendo el cuadrado del aumento del diámetro interior del cilindro (Mor-Mur & Saldo, 2011). Las empresas ofrecían equipos de carga vertical, que pueden alcanzar hasta 5,5 m, hasta que en 1999 la empresa española Hiperbaric popularizó sus diseños horizontales, que pueden alcanzar hasta los 16 m, pero facilitando enormemente la carga y descarga, convirtiendo a esta empresa en líder mundial de esta tecnología. Desde entonces todos los principales fabricantes han adoptado el diseño horizontal para sus equipos industriales.

Los primeros desarrollos comerciales de alimentos tratados por alta presión se lanzaron en Japón a principio de los años 90. Las mermeladas y salsas producidas sin tratamiento térmico contaban con una vida útil más extensa, al tiempo que conservaban todo su sabor y valor vitamínico.

Este tratamiento de pascalización (equivalente a una pasteurización, pero mediada por presión) también ha demostrado que reduce el amargor del pomelo, haciéndolo más popular. Un desarrollo muy exitoso fue la conservación de yomogi-mochi mediante alta presión, que conserva las características del producto casero. Este pastelito de arroz glutinoso con hierbas y relleno de pasta de judías rojas es muy popular en las celebraciones de Año Nuevo, y en 1996 los japoneses gastaron un millón de dólares en comprar esta exquisitez tratada por APH (Hill, 1997). Podemos destacar dentro de los países occidentales la adopción de APH en México de forma casi contemporánea con Japón, en este caso para tratar guacamole e inactivar la enzima polifenol-oxidasa (Mermelstein, 1997). Como ejemplo de la expansión del sector, actualmente ya hay 31 empresas procesando aguacate mediante APH (González-Angulo *et al.*, 2021).

Los alimentos producidos mediante tecnología que no se usaban antes de 1997 se consideran nuevos alimentos en la Unión Europea, y deben validar su inocuidad de acuerdo con el Reglamento UE-2015/2283 del Parlamento Europeo y del Consejo (Reglamento UE-2015/2283 Del Parlamento Europeo y Del Consejo, 2015). La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) todavía no considera a la APH una práctica rutinaria, y por lo tanto es necesario pedir la aprobación para cada nuevo producto. En Japón la situación es parecida, sin que el tratamiento de APH haya sido recogido como una forma de hacer seguros a los alimentos. La postura en Estados Unidos se basa en la evaluación de la efectividad de los tratamientos en la destrucción de los patógenos de interés, y los tratamientos deben describirse en función de los parámetros aplicados (presión, tiempo, temperatura, además de tiempos de compresión y descompresión) y las características del producto (temperatura inicial, composición, pH, actividad de agua y uso de conservantes) (Koutchma & Warriner, 2017). Puesto que la piezoresistencia y la termoresistencia no siempre coinciden en los microorganismos, la elección de las cepas microbianas que deben ser usadas para la validación de procesos no resulta siempre evidente.

El coste de operación resulta moderado, siendo estimado en 0,26-0,80 €/kg (tabla 4.2) (Jung *et al.*, 2011). La inversión inicial es elevada, pudiendo estimarse entre medio millón y 25 millones de euros. El coste del tratamiento depende de la amortización de la inversión en la compra del equipo, pero también de la eficiencia en el llenado del volumen disponible. Esta eficiencia se acostumbra en el rango de 60-70% del volumen total.

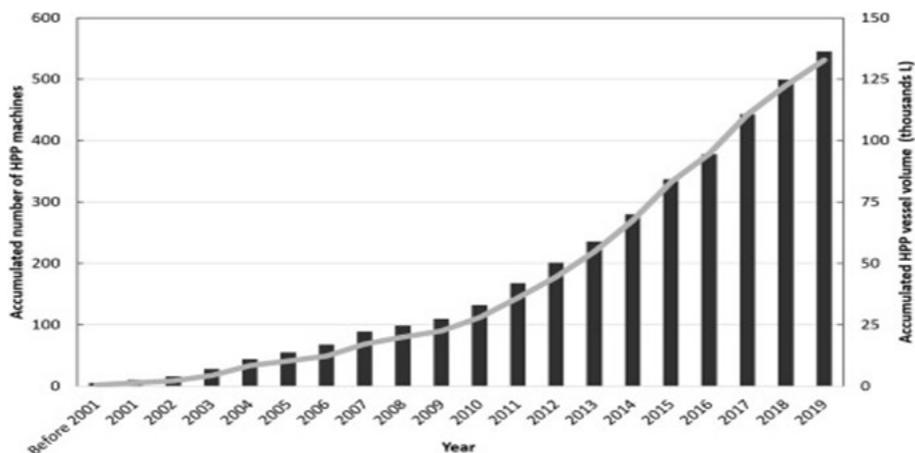
Los envases que resultan menos eficientes son las bandejas con atmósfera modificada (eficacia de volumen de 25-40%), mientras que los mejores son las bolsas selladas al vacío, especialmente las bolsas grandes para bag-in-box con una eficiencia de 75-85% (Yamamoto, 2017).

Tabla 4.2. Coste de producción por kilo de producto, adaptado de Martin *et al.* (2016). Consumibles=agua/suministros, lubricante, etcétera; Amortización= Período de 7 años; Reparaciones y mantenimiento= 50% coste de amortización.

	Equipo de pequeña capacidad 500 K€		Equipo de gran capacidad 25 000 K€		Equipo de pequeña capacidad	Equipo de gran capacidad
	1 operario	2 operarios	4 operarios		2 operarios, en 2 turnos 8 h	
Mano de obra	0.16 €	0.18 €	0.04 €	0.04 €	0.18 €	0.04 €
Mermas de producto	0.05 €	0.01 €	0.01 €	0.01 €	0.01 €	0.01 €
Consumibles	0.08 €	0.08 €	0.02 €	0.02 €	0.08 €	0.02 €
Amortización	0.45 €	0.26 €	0.28 €	0.08 €	0.13 €	0.16 €
Reparaciones y mantenimiento	0.06 €	0.06 €	0.06 €	0.06 €	0.06 €	0.06 €
Total (€/kg)	0.80 €	0.59 €	0.41 €	0.21 €	0.46 €	0.29 €

A pesar del elevado precio de compra de los equipos, el número de unidades en funcionamiento no ha dejado de aumentar. Actualmente hay unos 550 equipos funcionando en el mundo (figura 4.5), aunque su distribución es muy irregular, con un predominio en Europa y Norteamérica. Como el volumen de cada uno de los equipos ha aumentado también la capacidad de producción. Como puede verse en la tabla 4.2, la parte de amortización de equipos es la fracción más elevada del coste del tratamiento. Este ítem solamente puede mantenerse bajo si el equipo se utiliza durante el máximo tiempo posible, realizando muchos ciclos de procesado, como se observa comparando las columnas que corresponden a 1 turno o a 2 turnos de producción. Las empresas que han instalado equipos de APH han comenzado a vender su exceso de capacidad de producción, e incluso hay procesadores que han abierto centros de maquila para ofrecer la tecnología de APH a cualquier productor de alimentos, que les envía los productos previamente envasados y los recibe una vez que han sido procesados.

Figura 4.5. Número acumulado de máquinas HPP industriales en producción (columnas). Volumen acumulado de los equipos (línea gris). (González-Angulo *et al.*, 2021).



Además de la mejora de la seguridad y de la vida en anaquel, el tratamiento de alta presión se puede aplicar para obtener nuevos productos con elevada funcionalidad. Se ha estudiado la aceleración de la maduración de quesos mediante el tratamiento APH en los momentos iniciales (Zamora *et al.*, 2013). Se ha propuesto la idea de encapsular compuestos hidrofóbicos dentro de micelas de caseína aprovechando el efecto de desagregación de la micela durante la fase de alta presión, y permitiendo que los compuestos más hidrófobos se alojen en el interior de las micelas cuando estas se vuelven a ensamblar durante la etapa de liberación de la presión (Menéndez-Aguirre *et al.*, 2011).

4.7 Aplicación de la tecnología de membranas en la industria láctea

La tecnología de membranas ha jugado un rol cada vez más importante en la industria láctea, lo que ha dado lugar a la aparición de nuevos productos como leches con mayor cantidad de proteínas, concentrados y aislados de proteínas, quesos suaves y bebidas lácteas, por ejemplo. Adicionalmente, la tecnología de membranas ha permitido contar con procesos más eficientes energéticamente y más sustentables al reducir la cantidad de desechos en diferentes procesos. Saxena *et al.* (2009) señalan que los procesos alimentarios se han visto beneficiados ya que la tecnología de membranas

mejora su eficiencia, permite ampliar la gama de alimentos novedosos, ser amigable con el ambiente, tener flexibilidad y una fácil y rápida implementación, en relación con los procesos tradicionales.

Si bien la tecnología de membranas se utiliza desde hace algunos años en el procesamiento de productos lácteos convencionales, como en la pasterización de leche y para la producción de quesos, por ejemplo, ha cobrado importancia en el desarrollo de nuevos tipos de leche, sin embargo, el reto mayor lo constituye el aprovechamiento del lactosuero, que representa una fuente de proteínas y componentes valiosos para la dieta humana. Tradicionalmente, el aprovechamiento de éste se ha orientado a complementar la dieta animal o se ha desechado de las queserías a través del drenaje municipal o a cuencas hídricas, con lo que se genera un impacto ambiental desfavorable debido a su alta demanda biológica de oxígeno o DBO (20 000 a 50 000 mg O²/L, según Ramírez-Navas *et al.*, 2018), sin embargo, la alternativa de aprovechar sus diferentes componentes en la dieta humana cobra cada vez más importancia.

4.7.1 Lactosuero.

COMPONENTES PRINCIPALES.

El lactosuero se obtiene del proceso de elaboración de diferentes tipos de quesos una vez que se ha realizado el proceso de coagulación de las proteínas de la leche y formado la cuajada gracias a la acción de enzimas proteolíticas de diferente origen (García Garibay *et al.*, 2018).

El lactosuero presenta un contenido de proteínas de 6 a 12 g/L, de lactosa en un rango de 46 a 65 g/L y de grasa en valores que van de 3 a 5 g/L (Mazorra-Manzano y Moreno-Hernández, 2019), presenta también un contenido de minerales como fósforo, calcio, sodio, magnesio, zinc, cobre, hierro, entre otros, lo que hace del lactosuero un recurso alimentario con un enorme potencial, atractivo como fuente de ingredientes para productos alimenticios en sectores como el de panificación, cárnicos, aderezos, confitería, botanas, bebidas, alimentos nutraceuticos y alimentos para deportistas (US Dairy Export Council, 2004). A partir del lactosuero, se puede elaborar una serie de derivados alimenticios mediante la aplicación de diferentes operaciones y procesos: suero dulce en polvo, suero ácido en polvo, suero con lactosa reducida, suero desmineralizado en polvo, sustituto de sal de mesa (minerales), concentrado de proteínas a 34%, 50%, 60%,

75% y 80%; aislados de proteínas (90%), lactoferrina, lactoperoxidasa, glicomacropéptido, minerales y lactosa, glucosa, galactosa, bebidas, jarabe de lactosa, lactado de amonio, lactosil urea, fertilizantes para legumbres y alimentos para dietas para animales (Almecija, 2007 y US Export Dairy Council, 2004).

El lactosuero puede utilizarse también como medio de cultivo debido a su contenido de lactosa. Se tiene por ello la producción de ácidos orgánicos mediante fermentación con microorganismos como *Lactobacillus delbruekii ss bulgaricus*, *Lactobacillus delbruekii ss. delbruekii* y *Lactobacillus helveticus*. Otros productos como etanol (empleando *Kluyveromyces marxianus*), bebidas alcohólicas (empleando *Kluyveromyces lactis*), enzimas (empleando *K. marxianus*, *Candida kefir* y *Aspergillus niger*), entre otros productos (García Garibay *et al.*, 2018). Se reporta también la producción de otros productos como bioetanol y biopolímeros, hidrógeno, metano y probióticos (Yadav *et al.*, 2015).

Las características fisicoquímicas y la composición del lactosuero dependen en gran medida de las características de la leche, así como de las condiciones en que se elabora el queso del cual se obtiene (tabla 4.3). Por su pH, el lactosuero se divide en dos tipos: dulce y ácido. En México, se obtiene usualmente suero dulce, que tiene un pH mayor a 5.8, debajo de este valor se denomina suero ácido.

En México, los productos comerciales obtenidos del lactosuero incluyen concentrados y aislados de proteínas, suero desmineralizado, fracciones de proteínas, lactosa y calcio y la gran variedad de alimentos en la que se emplean, como los alimentos en polvo para bebés, muestran la importancia de los diferentes componentes del lactosuero. Los contenidos de proteínas que se reportan en sus etiquetas, va del 34 al 80% en los concentrados y en los aislados, se reportan contenidos mayores al 80% de proteínas. Las dos proteínas mayoritarias del lactosuero se describen a continuación.

Tabla 4.3. Componentes principales del lactosuero, en base seca (The American Dairy Products Institute, 2004).

Componente del suero dulce, base seca	Rango de la concentración
Proteína	11.0-14.5%
Lactosa	63.0-75.0%
Grasa de la leche	1.0-1.5%
Cenizas	8.2-8.8%
Humedad	3.5-5.0%
pH	5.8-6.5

LACTOGLOBULINA, B-LG.

La proteína β -Lg presenta en el lactosuero concentraciones de entre 2 a 4 g/L, lo que representa prácticamente la mitad de las proteínas presentes (tabla 4.4). Está formada por sola cadena de 162 aminoácidos, con peso molecular de alrededor de 36 kDa (Ramírez-Navas *et al.*, 2018).

Estos mismos investigadores señalan un punto isoelectrico de esta proteína a pH de 5.2, señalando también que se encuentra en forma de dímero entre pH de 7.5 y 5.2 e interacción con otras moléculas de retinopatía y ácidos grasos, lo que muestra su hidrofobicidad, lo que le otorga a esta proteína su capacidad emulsionante.

LACTOALBÚMINA.

La lactoalbúmina representa alrededor del 20% de las proteínas del lactosuero, con valores entre 1 y 1,5 g/L y está formada por una cadena polipeptídica de 123 aminoácidos (tabla 4.4). Su estructura terciaria, globular, es mantenida por los puentes disulfuro, con una zona de hélice α y otra de hojas plegadas β . Presenta un punto isoelectrico ácido de alrededor de 4.8 y un peso molecular de 14 kDa. Es más flexible en relación con la β -Lg y sus puentes disulfuro la mantienen en forma de elipsoide compacto (Ramírez-Navas *et al.*, 2018).

Tabla 4.4. Proteínas en el lactosuero de acuerdo con Zidney (1998).

Proteína	Concentración, g/L
b-Lactoglobulina	2.70
a-Lactoalbúmina	1.20
Inmunoglobulinas	0.65
Seroalbúmina bovina	0.40
Lactoferrina	0.10

Las proteínas del lactosuero, comercialmente se presentan como un polvo fino, con concentraciones entre el 60 y el 80%, con un contenido de grasa del 1 al 10% y de minerales entre el 1 y el 2% (gnc.com.mx, 18 junio 2021). Estos productos son reconocidos como GRAS por su acrónimo en inglés Generally Recognized as Safe (Yadav *et al.*, 2015).

4.7.2. Aplicaciones de los componentes del lactosuero.

Cada vez es mayor la valoración que se hace de las proteínas con alto valor biológico y de los diferentes micronutrientes como calcio, fósforo, zinc y hierro, entre otros, que posee el lactosuero y que pueden constituirse en una aportación importante a la dieta del consumidor. La tabla 4.5 muestra las propiedades de los derivados del lactosuero, lo que explica su amplio rango de aplicaciones en la industria alimentaria.

Especialmente, las proteínas del suero cobran importancia debido a su alto valor biológico, esto es, se absorben en el sistema digestivo casi totalmente (Almecija, 2009), adicional a este valor biológico poseen diferentes propiedades tecnológicas como emulsificantes, estabilizantes (Christian Saenz *et al.*, 2004., en Almecija), y como espumantes (Fierebaugh y Daubert, 2005, en Almecija).

Tabla 4.5. Propiedades funcionales de diferentes productos del lactosuero.

Producto	Propiedades Funcionales
Permeado en polvo	Desarrollo de color y sabor, aumento de sólidos, dispersabilidad
Suero dulce	Sabor lácteo y sólidos, solubilidad, dispersabilidad
Concentrado de proteína 34%	Fuente de proteínas, emulsificación, solubilidad, sabor, desarrollo de color y sabor
Concentrado de proteína 80%	Alto nivel de proteína, emulsificación, enlace de grasas, solubilidad, gelación, facilidad de batido
Aislado de proteína >80%	Alto nivel de proteínas, solubilidad
Suero desmineralizado	Bajo contenido de minerales, lactosa, versatilidad
Proteínas bioactivas, fracciones del suero	Estimulan el crecimiento de bifidobacterias, reducción de colesterol, mejora el transporte de hierro, propiedades antibacterianas
Lactosa	Retención de humedad, agente de textura, retención de color y sabor, no higroscopicidad, desarrollador de sabor y de reacciones de encafecimiento
Calcio de la leche	Calcio altamente biodisponible, sabor

Fuente: Reference Manual for U.S. Whey and Lactose Products, 2004.

4.7.3 *Alternativas tecnológicas para lograr el aprovechamiento de los componentes del lactosuero.*

El suero que se separa de la cuajada contiene diferentes impurezas, entre las que se pueden encontrar pequeñas partículas de la misma cuajada, de grasa, minerales y diferentes microorganismos, además de los componentes mencionados anteriormente, que son aptos también para formar parte de la alimentación animal, para el ganado porcino, por ejemplo.

Para la recuperación de las diferentes proteínas del lactosuero, es necesario aplicar una serie de operaciones unitarias entre las que se encuentran la centrifugación, el intercambio iónico, la electrodiálisis, la filtración de diferentes modalidades, la evaporación y la deshidratación.

Por otra parte, si se establece como objetivo recuperar las proteínas séricas de esta mezcla compleja con los componentes mencionados, se requiere de una serie de procesos de purificación que se inician con el uso de una clarificadora que remueve las partículas finas residuales de la cuajada y algunas impurezas sólidas, mientras que una centrífuga, en un paso siguiente remueve la grasa.

En este punto del procesamiento del lactosuero, es indispensable evitar su deterioro debido a la acción de microorganismos, por lo que es usual someterlo a enfriamiento, por debajo de los 7°C, con lo que se logra detener la producción de ácido láctico a partir de lactosa. Otra alternativa al enfriamiento es la inmediata pasteurización, cuyo objetivo es inactivar algunos microorganismos patógenos que se encuentren en el suero. Para ello y con el fin de no alterar las características de los componentes valiosos del lactosuero como las proteínas, se aplica un tratamiento de alta temperatura-tiempo corto. Estas condiciones que se emplean son una temperatura de 72°C por un lapso de 15 segundos (Manual de Referencia, 2004).

4.7.4 *Tecnología de membranas.*

En el mercado existen membranas fabricadas con diferentes polímeros como acetato de celulosa, polietersulfona (PES), polifluoruro de vinilideno (PVDF), polisulfona (PSO), polipropileno (PP), entre otros. Las membranas poliméricas son ampliamente utilizadas en los sectores de producción de alimentos y de tratamiento de aguas y la temperatura a la que pueden ser operadas es de hasta 50°C y en algunos casos 80°C. Su pH de operación va de 2 a 11, sin embargo, una de sus desventajas es que son susceptibles de sufrir el taponamiento de sus poros debido a la presión de operación.

En años recientes, las alternativas en el material de fabricación de las membranas se han ampliado con la aparición de membranas elaboradas con materiales cerámicos con base en óxidos de zirconio, de aluminio y de titanio como soporte y una capa activa de óxido de titanio. Las membranas de acero inoxidable también han sido utilizadas para condiciones drásticas de proceso. Las membranas cerámicas pueden operar en un amplio rango de temperaturas, inclusive mayor a 100°C, hasta con vapor vivo con el que pueden ser esterilizadas, y en cualquier valor de pH. Estos factores son importantes ya que permiten el uso de una amplia variedad de agentes químicos en su limpieza cuando las membranas reducen su flujo de permeado en una proporción importante, condición llamada “colmatación”.

Además de las diferencias en la porosidad y el material de construcción de las membranas, pueden encontrarse en el mercado membranas tubulares, membranas planas y en espiral. Las membranas cerámicas usualmente se fabrican en forma tubular. La figura 4.6 muestra las membranas poliméricas en espiral y las membranas cerámicas.

Figura 4.6 Membranas poliméricas en espiral y membranas cerámicas tubulares (Hydranautics, Tami Industries).



La porosidad de una membrana, mencionada también como tamaño de poro (en inglés llamada molecular weight cut off o MWCO) determina la técnica de filtración. Así, la microfiltración emplea membranas con una porosidad que va de 100 a 10 000 nm. La ultrafiltración emplea membranas con porosidades entre 1 y 100 nm, la nanofiltración de 0.5 a 5 nm y la ósmosis inversa utiliza membranas con porosidades menores a 1 nm. De acuerdo a la porosidad de la membrana que se utilice, se puede establecer entonces si los compuestos químicos de interés quedarán contenidos en la corriente de permeado o en la de retenido.

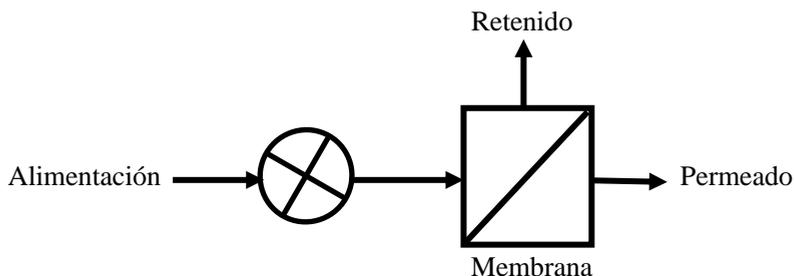
Una vez que se establece el objetivo para realizar una separación mediante membranas, es necesario contar con diferentes datos de la mezcla líquida a filtrar. Estos datos son la composición general de la mezcla y la concentración de los compuestos químicos de interés, su peso molecular, su naturaleza química (proteínas, carbohidratos, etcétera), pH de la mezcla y temperatura máxima que la mezcla puede permitir sin verse afectada.

Es necesario mencionar que una de las condiciones indispensables que debe reunir cualquier mezcla a filtrarse con membranas es no contener sólidos insolubles (sedimentables ni sólidos no sedimentables) debido a que la membrana quedará inutilizada al cubrirse con esos sólidos que impedirán la filtración y la separación deseada. En el caso del lactosuero, se aplica la separación de partículas de grasa que de forma natural contiene la leche. Para ello, se hace uso de una separadora centrífuga, equipo comúnmente disponible en el mercado.

4.7.5 Implementación de la filtración con membranas.

La metodología para establecer las condiciones de filtración del lactosuero sugiere la determinación inicial de la porosidad de las membranas, a partir de los pesos moleculares de los compuestos químicos de interés. Esta porosidad está referida al diámetro de los canales de la membrana semipermeable utilizada como medio filtrante. A través de estos canales, la mezcla de trabajo penetrará, y al hacerlo sus componentes que por su tamaño o peso molecular no logren atravesar, quedarán retenidos formando parte de la corriente llamada retenido o retentato y los compuestos que logren atravesarlos o recorrerlos, formarán parte de la corriente llamada permeado o filtrado. Los procesos de ultra microfiltración, ultrafiltración y nanofiltración utilizan como fuerza motriz la presión. Esta presión se suministra al sistema mediante bombas de desplazamiento positivo a la mezcla que se somete a la filtración. En figura 4.7 se muestra un esquema básico de la filtración con membranas.

Figura 4.7. Arreglo general de una membrana de separación.



VARIABLES DE OPERACIÓN EN LA FILTRACIÓN CON MEMBRANAS.

Con la finalidad de realizar la filtración de acuerdo con las necesidades del proceso, se deben establecer los valores para una serie de variables operativas: presión transmembrana, temperatura, concentración de la mezcla y velocidad tangencial de alimentación.

La presión transmembrana (TMP por sus siglas en inglés) es la presión promedio que existe entre el punto de alimentación y de la corriente de retenido con respecto a la presión en la línea por donde se desaloja la corriente de permeado de la membrana. La TMP se determina entonces con la diferencia de presión que existe entre el lado de entrada de la membrana y la línea de retenido en relación con la presión en la salida del permeado, que usualmente tiene un valor cercano a cero, al operar el equipo de ultrafiltración con la válvula de permeado abierta.

La temperatura de filtración juega un papel importante debido a la reducción de la viscosidad de la mezcla de trabajo, con lo que se incrementa su filtrabilidad, aumentándose entonces el flujo de permeado. Se señala inclusive que, con el aumento de la temperatura de operación, se ocasiona un aumento en el diámetro de los canales o poros de membranas poliméricas, contribuyendo esto al paso de algunos compuestos químicos a través de la membrana. En el caso de las membranas cerámicas no se espera una situación similar.

La velocidad tangencial se refiere a la velocidad del fluido por la línea de alimentación en el caso de las membranas poliméricas y en el caso de las membranas cerámicas se refiere a la velocidad del alimento a través de los canales longitudinales de las membranas. Usualmente esta velocidad se

determina de acuerdo con los datos técnicos proporcionados por el fabricante de la membrana.

En cuanto a la concentración de la mezcla o solución a filtrar, es de esperarse que, a mayor concentración de los compuestos de interés, se tenga una mayor concentración de ellos sobre la superficie de la membrana por lo que se tiene en consecuencia una reducción del flujo de permeado, lo que no es deseable.

Debido al efecto de cada una de las variables operativas de la ultrafiltración sobre el flujo de permeado y finalmente sobre la productividad, es indispensable realizar una serie de pruebas exploratorias para encontrar los mejores valores, tales que maximicen la productividad, el tiempo de filtración y minimicen el grado de ensuciamiento de la membrana.

Como resultado de esta exploración experimental, se obtendrán datos valiosos para realizar el escalamiento, cálculo y diseño de las unidades productivas de filtración con membranas. Entre estos datos se pueden mencionar el MWCO, el área de filtración requerida, la temperatura y concentración de la mezcla de trabajo adecuados, la velocidad tangencial y el tipo de membrana (polimérica o cerámica) a utilizar.

4.7.6 Aplicaciones de la tecnología de membranas: ajuste del contenido de proteínas en la leche.

La microfiltración es útil en los procesos de obtención de leche concentrada en proteínas y en los de obtención de derivados de lactosuero. En sus aplicaciones específicas, se emplea en la separación de bacterias y esporas (de tamaño entre 0.5 y 2 micras), con lo que se logra la pasteurización. A diferencia de la pasteurización convencional en la que se realiza el calentamiento del fluido, para llevar a cabo la microfiltración no es necesario aplicar calor. Con lo que se logra evitar el cambio del sabor, principalmente, además de ahorrar energía y evitar la presencia de microorganismos y condiciones que pueden alterar las propiedades del fluido.

La microfiltración constituye un pretratamiento en el proceso de obtención de leche UF, ultrafiltrada, que se caracteriza por una mayor cantidad de proteínas en relación con la leche convencional, y en el de obtención de derivados de lactosuero.

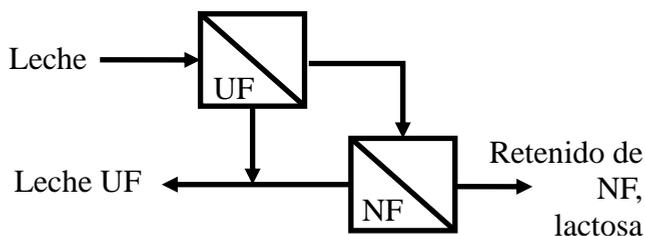
Particularmente, entre las aplicaciones de la ultrafiltración se puede mencionar también el ajuste del contenido de proteínas en la leche. Esta

necesidad surge debido a que el perfil fisicoquímico y sensorial de la leche puede variar en función de su composición, la cual sufre cambios por la alimentación del ganado o la temporada del año. Otra razón para realizar el ajuste de proteínas es el desarrollo de nuevos productos, por ejemplo, se puede obtener leche con un 70% más de proteínas, un 30% más de calcio y libre de lactosa, en relación con la leche de composición convencional. La leche con estas características ya se encuentra en el mercado, al alcance de cualquier consumidor en México. El contenido de proteínas en la leche puede incrementarse aún más de este 70% para segmentos de consumidores específicos.

Además de las ventajas competitivas que representan estos productos para las empresas que elaboran estas leches, representan para el consumidor alternativas saludables y muy prácticas para complementar sus requerimientos nutrimentales.

El esquema para obtener la leche UF, se muestra en la figura 4.8. Se puede observar que la leche pretratada para la ultrafiltración retiene prácticamente todas las proteínas en la membrana de 10 kDa (kilodalton). El permeado de esta membrana es filtrado con una membrana de NF (400 Da) en la que es retenida prácticamente toda la lactosa.

Figura 4.8. Diagrama del proceso de ultrafiltración de leche para incrementar el contenido de proteínas (Fuente: Etzel y Maubois, 2020).



El retenido de 10 kDa y el permeado de 400 Da se utilizan entonces para agregarlos a la leche fresca convencional y ajustar los niveles de esos componentes tan importantes, obteniendo así productos con un evidente valor agregado en relación con la leche convencional.

En este proceso de ajuste de proteínas de la leche mediante la UF, la lactosa y las sales minerales son removidas en el permeado de la NF y en el retenido de UF son concentradas las proteínas, que son útiles para enriquecer la leche convencional (Etzel y Maubois, 2020). En este caso el factor de concentración volumétrica es de 3 a 5, esto es, el volumen de alimento en relación con el volumen de retenido que se obtiene; en caso de que requiera reducir los contenidos de lactosa y sales minerales, es factible emplear la diafiltración, que consiste en diluir el retenido con agua y ultrafiltrar nuevamente (Berk, 2013 y Cheryan, 1986).

4.7.8 Recuperación de proteínas del lactosuero

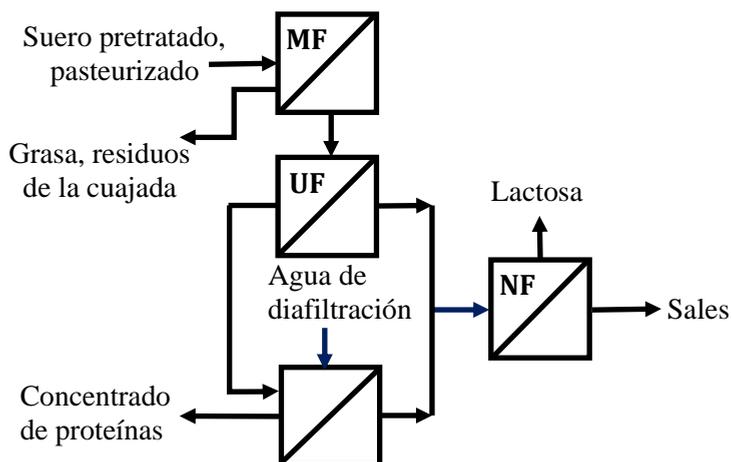
La obtención de proteínas de lactosuero implica una serie de operaciones de pretratamiento como la eliminación de grasa y partículas de la misma cuajada de queso, utilizando la centrifugación y de sales minerales empleando el intercambio iónico o la electrodiálisis. Impurezas del lactosuero como bacterias y esporas son también eliminados ya sea por medio de calentamiento o por microfiltración. El suero entonces se somete a la ultrafiltración, en la que son concentradas en el retenido las proteínas séricas (Berk, 2013) y en el permeado se van a concentrar la lactosa y sales minerales. La nanofiltración tiene por objetivo retener la lactosa y permitir el paso de la corriente rica en sales minerales (figura 4.9).

La ultrafiltración es apta también para obtener bebidas con base en lactosuero o que contengan algunos de sus componentes. Por ejemplo, las proteínas, altamente solubles en agua, obtenidas en el retentado, son ingredientes atractivos para el sector alimentario dado el gran valor nutrimental de una bebida elaborada con ellas, ya sea que éstas se utilicen de manera líquida o en forma de polvo para bebidas que se rehidratan al momento de consumirse.

Estos autores mencionan también la factibilidad de utilizar el lactosuero obtenido del uso de leche desnatada para elaborar quesos suaves o con menos grasa, con lo que se obtiene un lactosuero adecuado para formular bebidas con la capacidad de calmar la sed. Adicionalmente, la leche con un mayor contenido de proteínas presenta algunas ventajas en el proceso de elaboración de quesos: mayor rendimiento, menor consumo de energía y menor volumen generado de suero.

El permeado de la UF presenta también la factibilidad y atractivo para su utilización como edulcorante y fuente de sales minerales (Mudgil y Barak, 2019).

Figura 4.9 Arreglo general en la separación de proteínas del lactosuero



4.8 Perspectiva de I+D de la tecnología de membranas: nuevos desarrollos

La Innovación tecnológica en México es imprescindible dado el creciente aumento de productos en el sector lácteo y su impacto como alimento importante en la salud. En esta sección, se describirán los resultados más importantes de la búsqueda de innovaciones o patentes, sobre la tecnología de ultrafiltración aplicada al procesamiento de la leche o subproductos, para ello se utilizó la plataforma Derwent Innovation (2021, Clarivate).

A nivel global, ha habido una tendencia de crecimiento en el número de patentes sobre estas tecnologías. Entre las patentes recientemente publicadas, se detectó una patente de origen chino CN107809909B sobre la producción de una composición de proteína desmineralizada de leche, usando ultrafiltración, nanofiltración y electrodiálisis, sin tener la necesidad de usar resinas de intercambio iónico. Con este proceso planteado, se obtiene

un porcentaje mayor al 85% de la proteína desmineralizada con respecto a la proteína total. Este tipo de composición puede resultar de especial interés para la formulación de leche para infantes, por ejemplo, menor cantidad de calcio, sodio, magnesio y potasio.

Existen métodos patentados para procesar diversos productos de suero de leche. Por ejemplo, la patente (CN110367339A), hace referencia a un método para preparar polvo de k-caseína de suero de leche que involucra utilizar la separación por membrana donde: (1) Realiza una microfiltración primaria en leche descremada mediante una membrana cerámica para obtener una solución de permeado (A), para la microfiltración utilizó una membrana cerámica de 800 nm a 1.4 μm y la temperatura del tratamiento fue de 4-10 °C; (2) realiza una microfiltración secundaria por la membrana cerámica (30-100 nm) a una temperatura de 70-90 °C para obtener una solución de permeado (B) y del líquido atrapado; (3) introduce agua en el fluido atrapado para llevar a cabo la filtración (30-100 nm) de lavado para obtener una solución de permeado (C); (4) se combina la solución (B) y la solución (C) para obtener un producto crudo de suero de leche en polvo de k-caseína y; (5) purificar y concentrar el producto crudo mediante una membrana de ultrafiltración para obtener una solución concentrada, agregar agua a la solución concentrada para realizar el lavado, filtrar para obtener una solución concentrada lavada con agua y realizar el secado por atomización. El polvo de k-caseína del suero de leche es útil para promover el crecimiento de bifidobacterias en el tracto intestinal de los bebés y prevenir la diarrea de los bebés.

Por otro lado, la patente CN112602776A, hace referencia a una forma de elaborar leche con grasa vegetal, haciendo primero un pretratamiento de la leche cruda, separación y descremado, realizando posteriormente la concentración de la leche descremada por ultrafiltración, después mezclando la leche ultrafiltrada con la grasa vegetal, homogeneizando, esterilizando y enfriando. El paso de la concentración por ultrafiltración es llevado a cabo en un equipo de filtración por membranas, donde la presión de operación es de 0-06-0.18 MPa. Las membranas pueden ser de poliamida, polisulfona, polivinilideno, o celulosa, con un tamaño de poro de 1-100 nm. Las características del producto de esta invención es una leche con grasa vegetal con un alto contenido de proteína que puede alcanzar más del 6%, en donde la grasa de la leche se reemplaza por aceite vegetal (3-8% en peso),

y tiene un agradable sabor, vida de anaquel estable, alto valor nutritivo y también es adecuado para personas con necesidades de nutrición especiales.

En la patente de origen brasileño BR102017026755A2, desarrollaron un método para la separación y concentración de proteína de suero de leche de cabra donde se plantea el uso de una membrana de ultrafiltración de flujo tangencial semipermeable de 10 kDa y en modo de diafiltración, cuyo factor de concentración fue del 60%, para posteriormente secar por aspersión.

Un método para separar lípidos y proteínas de suero de leche fue protegido por la patente AU2015227507B2. El método incluye los pasos de adición al suero de una cantidad de sal de zinc soluble en suero y ajustar el pH del suero a menos de 6.0. La cantidad de sal de zinc adicionada al suero es suficiente para causar fragmentos de glóbulos de grasa tanto en leche como en suero. Las operaciones unitarias principales que son empleadas en esta innovación son la ultrafiltración, diafiltración, centrifugación en continuo, microfiltración y secado por aspersión.

También se han protegido composiciones nutricionales para promover el sistema inmune, reducir la inflamación, tratar o prevenir enfermedades o infecciones, que comprende el uso de un probiótico originado o aislado de origen humano (bifidobacterias y lactobacilos) y prebióticos, tales como fructo-oligosacáridos (FOS), galacto-oligosacáridos (GOS) y oligosacáridos de leche de vaca (CMOS). La elaboración de la composición contempla las operaciones unitarias de microfiltración y ultrafiltración (US9226521B2).

Otra de las aplicaciones del suero de leche, es protegida en la patente BY9182C1, donde se plantea un método para la producción de un suplemento bioactivo que presenta propiedades medicinales y profilácticas para la corrección de la microbiocenosis de la vagina y de los intestinos. El producto consiste en la recolección del suero descremado de leche, clarificado por ultrafiltración, ajustando a un pH neutro, la separación de las proteínas precipitadas, alta pasteurización o esterilización, enfriamiento a temperatura de cultivo, y finalmente separación de cultivos probióticos de lactobacilos acidófilos y lactobacilos plantarum.

En cuanto a la patente EP3787412A1, en ésta se describen métodos para preparar composiciones lácteas usando un paso de ultrafiltración y otro de nanofiltración (NF), seguida de diafiltración (DF) del retenido de la nanofiltración, y al menos un paso de ósmosis inversa u ósmosis directa. Con la combinación de estos métodos se pueden producir fracciones concentradas

de minerales, fracciones de agua-leche, y una fracción rica en grasa, las cuales al combinarse forman composiciones lácteas.

Se ha protegido un proceso para obtener una fórmula de leche en polvo, que involucra el empleo de la ultrafiltración (UF) de una composición de leche descremada de origen animal que comprende caseína y proteínas de suero, combinando el retenido de la UF, la remoción de iones polivalentes del permeado de la UF, haciendo combinaciones de ambas fracciones; y el secado del producto combinado para obtener la fórmula en polvo (patente NZ712773A). Muy similar a la anterior, en la patente NZ712768A presentó la innovación de un tratamiento de leche descremada de origen animal y suero dulce y/o suero ácido.

El desarrollo de las bebidas con alto contenido de proteína están siendo muy bien aceptadas por los consumidores, por ejemplo, se protegió una formulación de una bebida láctea con diversas fuentes de proteínas y alto contenido de proteína de leche reequilibrada entre suero y caseína, que satisface la demanda del mercado de productos saludables, naturales y equilibrados, está indicada para el control de peso, la pérdida de grasa y la construcción de masa magra, sin lactosa y poca cantidad de grasa (patente BR102019015898A2).

Finalmente, entre las patentes consultadas, se puede mencionar la patente DE102019120026A1 donde se planteó un método para producir productos lácteos, en el que la mantequilla se somete a una ultrafiltración con un límite de separación en el intervalo entre 1.000 y 20.000 Da, preferentemente a 10.000 Da. El método es útil para producir productos lácteos elegidos entre alimentos para bebés, yogur, productos de yogur, leche y bebidas de suero, queso crema, queso blando, queso semiduro, queso duro, postre, productos de crema y barras de leche.

4.9 Conclusiones

Actualmente, los consumidores demandan productos inocuos, de vida útil prolongada y naturales sin aditivos, la tecnología de APH y UF ofrecen a la industria láctea numerosas aplicaciones prácticas para producir lácteos microbiológicamente inocuos y mínimamente procesados con características mejoradas, junto con los posibles beneficios para la salud de los consumidores.

Productos como la leche, los quesos, cremas y yogures pueden tratarse mediante APH, para inactivar los microorganismos patógenos, sin embargo, para cada tipo de productos se deben estandarizar las condiciones de presión/temperatura del tratamiento para lograr que no se afecte el sabor, el cuerpo, la textura y los nutrientes. En el caso de nuestros productos lácteos de tipo artesanal, donde la aplicación de criterios normativos no se puede cumplir estrictamente, sería interesante explorar que esta tecnología pueda contrarrestar las barreras comerciales nacionales y para la exportación.

En nuestro país existe poca información disponible en la literatura con respecto a los atributos sensoriales, especialmente sobre alteraciones en textura, color, macronutrientes, componentes del sabor o su composición volátil y su relación con la calidad, tanto en productos elaborados bajo los métodos tradicionales estándar de cada región, como en aquellos procesados a nivel industrial mediante el uso de tecnologías no térmicas como la APH, por lo que futuras investigaciones en este campo generarán información valiosa sobre la composición y calidad de los productos lácteos artesanales y/o tradicionales, los cuales se encuentran posicionados en el gusto del consumidor por su uso para la elaboración o acompañamiento de muchos de los platillos de la gastronomía mexicana.

Es importante remarcar que los cambios inducidos por los tratamientos de APH descritos en la literatura en cuanto a las propiedades fisicoquímicas, reológicas y sensoriales de los productos no son necesariamente negativos y en algunos casos, son incluso benéficos, económicamente hablando. Aunado a esto, es posible obtener texturas, sabores, aromas y apariencias novedosas o distintivas dependiendo de las condiciones de tratamiento que podrían resultar atractivas para los consumidores.

En el caso de la tecnología de membranas, ha demostrado ser útil en el desarrollo de los nuevos productos lácteos que demanda el consumidor actual, esto se comprueba en los anaqueles de los autoservicios, en los cuales podemos elegir ya leches de diferentes sabores, diferente concentración de proteínas, grasa y de lactosa. Igualmente podemos contar ya con una serie de importantes ingredientes alimentarios obtenidos de lactosuero. Sin embargo, cuando se trata de un nuevo proyecto, no sólo del sector lácteo, es necesario realizar una serie de pruebas y estudios previos a la selección e instalación del sistema de filtración con membranas que sea adecuado a las materias primas y productos a obtener.

4.10 Bibliografía

- Alonso, R., Picon, A., Rodríguez, B., Gaya, P., Fernández-García, E., & Nuñez, M. (2011). Microbiological, chemical, and sensory characteristics of Hispánico cheese manufactured using frozen high pressure treated curds made from raw ovine milk. *International Dairy Journal*, 21(7), 484–492. <https://doi.org/10.1016/J.IDAIRYJ.2011.02.008>
- Ankit Goyal, V. S. N. U. M. S. R. K. (2013). High Pressure Processing and Its Impact on Milk Proteins: A Review\n. Research & Reviews : *Journal of Dairy Science & Technology*, 2(1), 12–20. <http://www.stmjournals.com/sci/index.php?journal=RRJoDST&page=article&op=view&path%5B%5D=366%5Cn>
- Ávila, M., Garde, S., Fernández-García, E., Medina, M., & Nuñez, M. (2006). Effect of high-pressure treatment and a bacteriocin-producing lactic culture on the odor and aroma of Hispánico cheese: Correlation of volatile compounds and sensory analysis. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(2), 382–389. <https://doi.org/10.1021/jf051848f>
- Ávila, M., Gómez-Torres, N., Delgado, D., Gaya, P., & Garde, S. (2017). Effect of high-pressure treatments on proteolysis, volatile compounds, texture, colour, and sensory characteristics of semi-hard raw ewe milk cheese. *Food Research International*, 100, 595–602. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.043>
- Balny, C., Masson, P., & Heremans, K. (2002). High pressure effects on biological macromolecules: From structural changes to alteration of cellular processes. *Biochimica et Biophysica Acta - Protein Structure and Molecular Enzymology*, 1595(1–2), 3–10. [https://doi.org/10.1016/S0167-4838\(01\)00331-4](https://doi.org/10.1016/S0167-4838(01)00331-4)
- Bridgman, P. W. W. (1914). The coagulation of albumen by pressure. *Journal of Biological Chemistry*, 19(4), 511–512. [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(18\)88287-4](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(18)88287-4)
- Calzada, J., Del Olmo, A., Picon, A., Gaya, P., & Nuñez, M. (2013). High-pressure processing decelerates lipolysis and formation of volatile compounds in ovine milk blue-veined cheese. *Journal of Dairy Science*, 96(12), 7500–7510. <https://doi.org/10.3168/JDS.2013-7221>
- Capellas, M., Mor-Mur, M., Gervilla, R., Yuste, J., & Guamis, B. (2000). Effect of high pressure combined with mild heat or nisin on inoculated bacteria and mesophiles of goat's milk fresh cheese. *Food Microbiology*, 17(6), 633–641.

- Carminati, D., Gatti, M., Bonvini, B., Neviani, E., & Muchetti, G. (2004). High-Pressure Processing of Gorgonzola Cheese: Influence on *Listeria monocytogenes* Inactivation and on Sensory Characteristics. *Journal of Food Protection*, 67(8), 1671–1675. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-67.8.1671>
- Chawla, R., Patil, G. R., & Singh, A. K. (2011). High hydrostatic pressure technology in dairy processing: A review. *Journal of Food Science and Technology*, 48(3), 260–268. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0180-4>
- de Lamo-Castellví S. Capellas M. Lopez-Pedemonte T. Hernández-Herrero M. M. Guamis B., Roig-Sagués, A. X. (2005). Behaviour of *Yersinia enterocolitica* strains inoculated in model cheese. *Journal of Food Protection*, 68(3), 523–528.
- Deeth, H. C., Datta, N., & Versteeg, C. (2013). Nonthermal Technologies in Dairy Processing. In *Advances in Dairy Ingredients* (pp. 161–215). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781118448205.ch6>
- Delgado, F. J., González-Crespo, J., Cava, R., & Ramírez, R. (2012). Changes in microbiology, proteolysis, texture and sensory characteristics of raw goat milk cheeses treated by high-pressure at different stages of maturation. *LWT - Food Science and Technology*, 48(2), 268–275. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2012.03.025>
- Escobedo-Avellaneda, Z., Espiricueta-Candelaria, R. S., Calvo-Segura, S., Welti-Chanes, J., & Chuck-Hernández, C. (2021). Changes induced by high hydrostatic pressure in acidified and non-acidified milk during Oaxaca cheese production. *International Journal of Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15134>
- Reglamento (UE) 2015/2283 del Parlamento Europeo y del Consejo, (2015) (testimony of European Parliament).
- Evert-Arriagada, K., Hernández-Herrero, M. M., Gallardo-Chacón, J. J., Juan, B., & Trujillo, A. J. (2013). Effect of high pressure processing on volatile compound profile of a starter-free fresh cheese. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 19, 73–78. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.04.001>
- Evert-Arriagada, K., Hernández-Herrero, M. M., Juan, B., Guamis, B., & Trujillo, A. J. (2012). Effect of high pressure on fresh cheese shelf-life. *Journal of Food Engineering*, 110(2), 248–253. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.05.011>
- Gervilla, R., Mor-Mur, M., Ferragut, V., & Guamis, B. (1999). Kinetics of

- destruction of *Escherichia coli* and *Pseudomonas fluorescens* inoculated in ewe's milk by high hydrostatic pressure. *Food Microbiology*, 16(2), 173–184.
- González-Angulo, M., Serment-Moreno, V., Queirós, R. P., & Tonello-Samson, C. (2021). Food and Beverage Commercial Applications of High Pressure Processing. In K. Knoerzer & K. Muthukumarappan (Eds.), *Innovative Food Processing Technologies* (pp. 39–73). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815781-7.00009-3>
- Guamis López, B., López-Pedemonte, T. J., Roig Sagués, A. X., Yuste Puigvert, J., Capellas Puig, M., Pla Soler, R., Mor-Mur i Francesch, M., & de Lamo Castellv, S. (2005). Aplicaciones de altas presiones en alimentos: Aspectos microbiológicos. Combinación con otros métodos físicos y químicos. *Alimentaria*, 360(1–2), 11–16.
- Hill, S. (1997). Squeezing the death out of food. *New Scientist Magazine*, 28–32.
- Hite, B. . (1899). *The effect of pressure in the preservation of milk*. Bull W V Univ Agric Exp Station, 58, 15–35.
- Hu, G., Zheng, Y., Liu, Z., & Deng, Y. (2017). Effects of UV-C and single- and multiple-cycle high hydrostatic pressure treatments on flavor evolution of cow milk: Gas chromatography-mass spectrometry, electronic nose, and electronic tongue analyses. *International Journal of Food Properties*, 20(7), 1677–1688. <https://doi.org/10.1080/10942912.2016.1217876>
- Huppertz, T., Kelly, A. L., & Fox, P. F. (2002). Effects of high pressure on constituents and properties of milk. *International Dairy Journal*, 12(7), 561–572. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(02\)00045-6](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(02)00045-6)
- Jermann, C., Koutchma, T., Margas, E., Leadley, C., & Ros-Polski, V. (2015). Mapping trends in novel and emerging food processing technologies around the world. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 31, 14–27.
- Jolvis Pou, K. R. (2021). Applications of High Pressure Technology in Food Processing. *International Journal of Food Studies*, 10, 248–281. <https://doi.org/10.7455/ijfs/10.1.2021.a10>
- Jung, S., Samson, C. T., Lamballerie, M. de, Tonello Samson, C., & de Lamballerie, M. (2011). High Hydrostatic Pressure Food Processing. In A. Proctor (Ed.), *Alternatives to conventional food processing* (pp. 254–306). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781849730976-00254>

- Koutchma, T., & Warriner, K. (2017). Regulatory aspects of high-pressure processed foods. In M. Houška & F. Vinagre Marques da Silva (Eds.), *High Pressure Processing of Fruit and Vegetable Products*. CRC Press.
- Liepa, M., Zagorska, J., & Galoburda, R. (2016). *High-pressure processing as novel technology in dairy industry: A review*. Research for Rural Development, 1, 76–83.
- Liu, X., Powers, J. R., Swanson, B. G., Hill, H. H., & Clark, S. (2005). High hydrostatic pressure affects flavor-binding properties of whey protein concentrate. *Journal of Food Science*, 70(9), C581-584. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.tb08308.x>
- López-Pedemonte, T. J., Roig-Sagués, A. X., Trujillo, A. J., Capellas, M., & Guamis, B. (2003). Inactivation of Spores of *Bacillus cereus* in Cheese by High Hydrostatic Pressure with the Addition of Nisin or Lysozyme. *Journal of Dairy Science*, 86(10), 3075–3081. [https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302\(03\)73907-1](https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302(03)73907-1)
- López-Pedemonte, T., Roig-Sagués, A. X., Lamo, S. De, Gervilla, R., & Guamis, B. (2007). High hydrostatic pressure treatment applied to model cheeses made from cow's milk inoculated with *Staphylococcus aureus*. *Food Control*, 18(5), 441–447.
- Makhal, S., Vashishtha, B., Mandal, S., & Kanawjia, S. K. (2003). High Hydrostatic Pressure in Food Preservation: Philosophy and Development. *Indian Food Industry*, 22(1), 38–45.
- Martin, J. L., & others. (2016). *Technical and economic feasibility of high-pressure processing on charcuterie foods*. Cahiers de l'IFIP, 3(1), 25–43.
- Martínez-Rodríguez, Y., Acosta-Muñiz, C., Olivas, G. I., Guerrero-Beltrán, J., Rodrigo-Aliaga, D., & Sepúlveda, D. R. (2012). High Hydrostatic Pressure Processing of Cheese. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11(4), 399–416. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2012.00192.x>
- Menéndez-Aguirre, O., Stuetz, W., Grune, T., Kessler, A., Weiss, J., & Hinrichs, J. (2011). High pressure-assisted encapsulation of vitamin D 2 in reassembled casein micelles. *High Pressure Research*, 31(1), 265–274. <https://doi.org/10.1080/08957959.2011.565057>
- Mermelstein, N.-H. (1997). High pressure processing reaches the U.S. market. *Food Technology*, 51(6), 95–96.

- Messens, W. J., Dewettinck, K., & Huyghebaert, A. (1999). Proteolysis and Viscoelastic Properties of High Pressure Treated Gouda Cheese. In: Ludwig H. (eds) *Advances in High Pressure Bioscience and Biotechnology*. In S. *Advances in High Pressure Bioscience and Biotechnology* (Ed.), *Bioscience and Biotechnology*. (pp. 445–448). https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-642-60196-5_100
- Mor-Mur, M., & Saldo, J. (2011). *Handbook of Food Safety Engineering*. In D.-W. Sun (Ed.). Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9781444355321>
- Naik, L., Sharma, R., & Gaare, R. (2013). Application of High Pressure Processing Technology for Dairy Food Preservation - Future Perspective: A Review. *Journal of Animal Production Advances*, 3(8), 232. <https://doi.org/10.5455/japa.20120512104313>
- Needs, E. C., Capellas, M., Bland, A. P., Manoj, P., Macdougall, D., & Paul, G. (2000). Comparison of heat and pressure treatments of skim milk, fortified with whey protein concentrate, for set yogurt preparation: Effects on milk proteins and gel structure. *Journal of Dairy Research*, 67(3), 329–348. <https://doi.org/10.1017/S0022029900004301>
- O'Reilly, C. E., O'Connor, P. E., Kelly, A., Murphy, P. M., & Beresford, T. P. (2000). Acceleration of cheese ripening using high pressure. *Irish Journal of Agricultural and Food Research*, 38(1), 161.
- Reps, A., Kuźmicka, M., Wiśniewska, K., & Jankowska, A. (2009). The effect of high pressure on Lactococcus bacteria count in Edam rennin cheese. *High Pressure Research*, 29(1), 28–32. <https://doi.org/10.1080/08957950802485740>
- Rodriguez, E., Arques, J. L., Nuñez, M., Gaya, P., & Medina, M. (2005). Combined effect of high-pressure treatments and bacteriocin-producing lactic acid bacteria on inactivation of Escherichia coli O157:H7 in raw-milk cheese. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(7), 3399–3404. <https://doi.org/10.1128/AEM.71.7.3399-3404.2005>
- S., N., P., M., & V., O. (2016). The Effect of High Pressure Processing on Milk: An Overview. *Alexandria Journal of Food Science and Technology*, 13(2), 33–44. <https://doi.org/10.12816/0038412>
- Sandra, S., Stanford, M. A., & Goddik, L. M. (2004). The Use of High-pressure Processing in the Production of Queso Fresco Cheese. *Journal of Food Science*, 69(4), FEP153--FEP158. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb06340.x>
- Shao, Y., & Ramaswamy, H. (2011). Clostridium sporogenes-ATCC 7955

- Spore Destruction Kinetics in Milk Under High Pressure and Elevated Temperature Treatment Conditions. *Food and Bioprocess Technology*, 4, 458–468. <https://doi.org/10.1007/s11947-008-0165-8>
- Trujillo, A. J., Capellas, M., Saldo, J., Gervilla, R., & Guamis, B. (2002). Applications of high-hydrostatic pressure on milk and dairy products: A review. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 3(4), 295–307. [https://doi.org/10.1016/S1466-8564\(02\)00049-8](https://doi.org/10.1016/S1466-8564(02)00049-8)
- Trujillo, A. J., Ferragut, V., Juan, B., Roig-Sagués, A. X., & Guamis, B. (2016). Processing of dairy products utilizing high pressure. In *Food Engineering Series*. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3234-4_25
- Van Hekken, D. L., Tunick, M. H., Farkye, N. Y., & Tomasula, P. M. (2013). Effect of hydrostatic high-pressure processing on the chemical, functional, and rheological properties of starter-free Queso Fresco. *Journal of Dairy Science*, 96(10), 6147–6160. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6212>
- Vazquez-Landaverde, P. A., Torres, J. A., & Qian, M. C. (2006). Effect of high-pressure-moderate-temperature processing on the volatile profile of milk. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(24), 9184–9192. <https://doi.org/10.1021/jf061497k>
- Yamamoto, K. (2017). *Food processing by high hydrostatic pressure*. OUP, 81(4), 672–679. <https://doi.org/10.1080/09168451.2017.1281723>
- Yang, S., Liu, G., Munk, D. M. E., Qin, Z., Petersen, M. A., Cardoso, D. R., Otte, J., & Ahrné, L. (2020). Cycled high hydrostatic pressure processing of whole and skimmed milk: Effects on physicochemical properties. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 63, 102378. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102378>
- Zamora, A., Ferragut, V., Juan, B., Guamis, B., & Trujillo, A. J. (2013). *Making the most out of cheese*. *Food Engineering and Ingredients*, 38(5–6), 12–15.
- Zhi-guang, C., Jun-rong, H., Hua-yin, P., Qi, Y., & Chen-lu, F. (2020). The effects of HHP (high hydrostatic pressure) on the interchain interaction and the conformation of amylopectin and double-amylose molecules. *International Journal of Biological Macromolecules*, 155, 91–102. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.190>

Capítulo 5

Productos lácteos tradicionales de México: aportes científicos y tecnológicos

Chombo-Morales, María P.^{1};
Sánchez-Osorio, Ever²;
García-Barrón, Sergio E.³;
Delgadillo-Mojarro, Adriana⁴;
López-Ramírez, Julisa E.⁵.
Ramírez-Cerda, Elsa L.⁶*

5.1 Introducción

El consumo de leche de diversas especies mamíferas ha acompañado la alimentación humana desde los primeros tiempos, al igual que el consumo de versiones fermentadas y de quesos. Evidencias arqueológicas refieren una antigüedad de más de 10,000 años. Si bien el aprovechamiento de la leche

¹ Tecnología Alimentaria. Sede Zapopan. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ). Camino Arenero 1227, El Bajío, 45019 Zapopan, Jal. México. pchombo@ciatej.mx. *Corresponding author.

² Tecnología Alimentaria. Sede Zapopan. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ). Camino Arenero 1227, El Bajío, 45019 Zapopan, Jal. México. esanchez@ciatej.mx.

³ Tecnología Alimentaria. Sede Normalistas. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.(CIATEJ). Av. Normalistas No. 800, Col. Colinas de la Normal, Guadalajara, Jalisco, México. segarcia@ciatej.mx

⁴ Tecnología Alimentaria. Sede Zapopan. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ). Camino Arenero 1227, El Bajío, 45019 Zapopan, Jal. México addelgadillo_al@ciatej.edu.mx

⁵ Tecnología Alimentaria. Sede Zapopan. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ). Camino Arenero 1227, El Bajío, 45019 Zapopan, Jal. México jelopez@ciatej.mx

⁶ Gestión de Calidad. Dirección General. Sede Normalistas. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.(CIATEJ). Av. Normalistas No. 800, Col. Colinas de la Normal, Guadalajara, Jalisco, México. eramirez@ciatej.mx

pudo tener su origen en las tierras fértiles del Éufrates y del Tigris, se ha referido que algunas variantes de quesos se comercializaron en tiempos de los imperios otomano, egipcio, griego y romano; más adelante, los secretos de su elaboración se resguardaron en los monasterios en la edad media (Bernard, 1994; Scott, 1991).

Con el tiempo, el saber hacer desde la selección del ganado, su cuidado, su alimentación, hasta la cuidadosa elaboración de los lácteos y su consumo, se extendió a otras latitudes y continuó a través de la historia. Algunos productos se habrán dejado de producir, otros se habrán refinado. En la actualidad se conocen más de 2,000 variedades de quesos en el mundo, algunos de los más comunes se producen a escala industrial, se exportan y satisfacen la demanda de un mercado globalizado, otros de gran prestigio internacional siguen el proceso tradicional, como el italiano gorgonzola (879 d. c.), el francés roquefort (1070 d. c.) y el inglés cheddar (1500 d. c.) (Fox, P. F. & McSweeney, 2004), algunos de ellos ostentan registros legales de su origen y forma de elaboración, tal es el caso de las denominaciones de origen o las marcas colectivas⁷ (Chombo-Morales, 2007; Linck & Barragan, 2009). Ahora bien, la domesticación de mamíferos así como el aprovechamiento de su leche y sus derivados como alimentos en el mundo precolombino, no se encuentra documentado. La alimentación antes del descubrimiento de América y de la conquista de las poblaciones del nuevo mundo se basaba en el consumo de variedades de maíz, frijol, chile, frutos, tubérculos, semillas, algas, hongos, productos de la pesca, aves y otros animales de caza y domesticados, tal y como señalaron Canale-Guerrero *et al.* (2009) citando ejemplos mencionados por Fray Bernardino de Sahagún en su *Historia General de las cosas de la nueva España*. Es lógico pensar que el consumo de leche, queso, jocoque, cajeta y otros derivados, tan tradicionales en nuestro México actual, sea el resultado de la fusión de las dos culturas, la hispana y la mesoamericana, lo que fue sin duda, en sus inicios, un aprendizaje obligado. Bajo este contexto, este año

⁷ Las indicaciones geográficas (IG) son registros con implicaciones legales, originalmente establecidas en algunos países europeos. A mediados del siglo XX se fueron constituyendo para evitar fraudes por imitaciones o por análogos de productos provenientes de una región específica. Se consideran una distinción del producto para los artesanos. Las IG están respaldadas en el mercado internacional por el convenio de Lisboa y por Tratados de Libre Comercio entre las regiones del mundo. Algunas de ellas son las denominaciones de origen (D.O.), las indicaciones de procedencia o indicación geográfica, ejemplos: Appellation d'origine contrôlée (AOC, Fr); indicación geográfica protegida (IGP, UE), la marca colectiva (MC, Mx). En México, la gestión y proceso se basa en la Ley de Propiedad Industrial -en su reglamento y/u otras normas especiales-.

2021, en el que se conmemoran los 500 años de la caída de Tenochtitlan/ el triunfo de la conquista española/el alumbramiento doloroso de una futura resplandeciente y valerosa nación, lo podríamos establecer también como el origen de los lácteos en nuestro país.

A partir de entonces y hasta nuestros días, consumimos quesos y leches fermentadas, cuyas formas de elaboración son tan antiguas como en los primeros años de la colonia en la Nueva España. Los quesos frescos, como el queso panela, el requesón y el jocoque, son populares en México, tanto en versiones artesanales (González-Córdova *et al.*, 2016) como industriales (SIAP, 2019). De acuerdo a Cervantes-Escoto y sus colaboradores (2008), la industria láctea mexicana produce alrededor de 15 variedades de quesos, mientras que los producidos a pequeña escala y de manera artesanal, podrían sumar más de 50 variedades. Otros, desde luego se importan. Muchos de los quesos tradicionales ya no se producen, como el queso sierra o están en peligro de desaparecer, como Barragán y sus colaboradores citaron del cotija en 1998 (Barragán-López, 1998). Lo cierto es que, los alimentos tradicionales son patrimonio cultural de cada región del país, en la mayoría de las veces son producciones familiares, pequeños negocios, cuya principal actividad económica es precisamente la elaboración de derivados lácteos tradicionales.

Queriendo contribuir a revalorar este tipo de productos, a continuación se presenta una selección de investigaciones realizadas en CIATEJ, sobre quesos, leches acidificadas y dulces de leche tradicionales elaborados de manera artesanal; investigaciones que buscaron reducir o eliminar riesgos sanitarios, mejorar su calidad y asociar parámetros fisicoquímicos o biológicos a su autenticidad, identidad y tipicidad, mediante herramientas analíticas y bajo el criterio científico que nos caracteriza; se comenzará con la presentación de sus propiedades, luego se describirá la forma en la que se elaboran, para cerrar con un breve resumen de las investigaciones realizadas sobre cada producto.

Figura 5.1. Principales regiones productoras de quesos y dulces de leche tradicionales en México.



5.2 Historia de los lácteos en México

Como sucede en otros ámbitos de los sistemas de producción agroalimentarios y sus eslabones, poco se sabe del origen, los procesos históricos, culturales, tradicionales e identitarios en torno a la producción, distribución y comercialización de los alimentos que regularmente consumimos, en este caso, del queso. El queso es un alimento milenario, sus orígenes datan de

la era neolítica, cuando el hombre comenzó a domesticar animales, ovejas y cabras, principalmente (García-Baquero, 2020). Algunos datos arqueológicos suponen la existencia de un alimento similar al queso en varias partes del mundo. Por ejemplo, en Kuyavia, Polonia, se encontraron, lo que parece ser “moléculas de leche” en una especie de coladores que datan de 5500 a. C.; los murales egipcios que muestran algo como el “arquetipo” del queso y datan de 2000 a.C. y restos de un objeto que se cree tiene más de 3 mil años de antigüedad que sería considerado como un protoqueso, el cual fue encontrado en Xinjian, China” (Zannie, 2020).

El queso se hizo presente durante el imperio romano, los griegos crearon mitologías en torno a este alimento que formó parte de la dieta diaria, otorgando a los dioses del Olimpo, Aristeo⁸, principalmente, el regalo del queso para los hombres. La leyenda más conocida sobre este alimento “trata de un mercader árabe que mientras recorría el largo desierto, guardó leche en un recipiente hecho a partir del estómago de un cordero. Al abrirlo vio que la leche había fermentado, debido al cuajo del estómago del cordero y a las altas temperaturas del desierto” (García-Baquero, 2020). Leyenda similar pone de protagonista a un pastor de Kanama, región ubicada en el Asia Menor, que tuvo la misma fortuna cuando descubrió que la leche se había fermentado. Durante esta época, con la influencia del imperio romano, la producción y consumo de queso llegó a toda Europa, siendo los quesos franceses los de mayor gusto y demanda. Aún y después de la caída del imperio romano la tradición continuó; sin embargo, cada región fue adoptando e integrando procesos particulares en la elaboración del alimento, además, la región (a partir del ecosistema) dio características distintivas a los productos elaborados desde lugares geográficos específicos. Un dato más refiere que el proceso de elaboración del antiguo imperio romano, no dista mucho de la actualidad; es más, los quesos más comunes o tradicionales, como el gouda y el parmesano, que datan de la edad media, no han variado mucho de los procesos de producción y elaboración como los conocemos actualmente (Zannie, 2020).

La primera fábrica de queso se conoció en 1815, en Suiza; sin embargo,

⁸ “En la mitología griega se cuenta como las ninfas de Mirto enseñaron a Aristeo cómo obtener la miel del panal de las abejas, a extraer el aceite de las aceitunas y a cuajar la leche para conseguir queso. Aristeo ha pasado a la historia como un dios menor, sin el predicamento de otros mucho más violentos y sanguinarios” (Lens, 2019, párr. 3), aunque existen varias versiones.

Estados Unidos fue el país que logró una explotación a gran escala. En la actualidad, Estados Unidos es el principal país productor, seguido de Alemania y Francia. Por otra parte, los quesos con mayor tradición y gusto por los consumidores se encuentran en Francia e Italia, con más de 400 tipos de queso (Zannie, 2020). Debido a que el queso se constituye de leche, secreción que proviene de las glándulas mamarias de los mamíferos, en varios países ha provocado un choque cultural, donde su consumo aún es bajo. Como en el caso del continente asiático, particularmente China, donde se considera algo sucio, debido a la asociación que hacen de la leche con la saliva, sin embargo, el consumo de productos lácteos en el país va al alza.

La historia, cultura y tradición del consumo de queso en México se dio en el contexto de la colonización. Fueron los españoles quienes trajeron el ganado (vacas, ovejas y cabras, principalmente), también implementaron técnicas de producción para la elaboración del queso. El período colonial ha sido decisivo en los procesos, técnicas y diversas artes que implementaron, adaptaron y se combinaron para elaborar un queso particular y muy distintivo entre los mexicanos. El queso que se comenzó a elaborar en el país adoptó gustos europeos, mezclados con los gustos y tradiciones indígenas de la cultura alimentaria mexicana: esa adaptación, combinación e ingenio de los indígenas, más la caracterización natural (abiótico) de las regiones detonaron variedades de queso que se han vuelto muy característicos según los estados donde se producen.

Bajo esa caracterización, la cocina mexicana integró algunas variedades de queso a sus comidas tradicionales. Si bien esto ha sido por la influencia española, hoy México presenta al mundo una extensa variedad de platillos rebasando a aquel país europeo. Algunos de esos platillos mexicanos son: quesadillas, sopes, tostadas, enchiladas, chiles rellenos, afrijoladas, tacos, tlayudas, sólo por mencionar algunos alimentos que forman parte de la gastronomía nacional. Parte de este secreto se deriva de la combinación de tortilla –o masa de maíz– y queso (Zannie, 2020), herencia ancestral de nuestros antepasados. El consumo de queso entre los mexicanos es elevado, esto se debe principalmente a gran variedad de productos que existen, de los cuales podemos mencionar: Oaxaca, panela, de aro, cotija, asadero, entre otros. Según Cesín-Vargas (2014) con referencia a Cervantes y Villegas (*La leche y los quesos artesanales en México*, 2012), “de acuerdo con datos de INEGI, en México, un hogar promedio destina 29.4 % de su gasto a la adquisición de alimentos, bebidas y tabaco; de ese total, 9.52 %

corresponde a la adquisición de productos lácteos, equivalente a 2.8 % del gasto global. En la compra de diferentes tipos de leche se eroga 64 % del gasto en lácteos y 24 % para la adquisición de quesos; el 12 % restante se destina al consumo de otros derivados lácteos”.

El consumo nacional se orienta hacia los quesos frescos, debido al sabor, el precio y que además es posible conseguirlos en la tienda de la esquina, tianguis o incluso se venden de casa en casa. El consumo de queso importado o quesos premium tiene una demanda por un sector especializado, quienes buscan degustar un sabor, textura y combinación de alimento muy particular, además, estos quesos tienen un precio elevado.

Entre los principales estados lecheros del país están Jalisco, Guanajuato, Chihuahua y Chiapas, quienes producen principalmente queso fresco, doble crema y panela. A nivel nacional, el consumo por tipo de queso se puede dividir por regiones: al norte del país (Nuevo León y Chihuahua) tiene mayor predilección por el queso chihuahua, asadero, oaxaca y amarillo; al oeste (Jalisco) consumen más queso panela, adobera y queso crema; en el Valle de México se orientan más al consumo de queso fresco, oaxaca y panela (Zannie, 2020).

México se ha convertido en un importante productor de queso a nivel mundial: entre los países de América Latina ocupa el tercer puesto, mientras que a nivel global se encuentra en la décima posición. La diversidad de quesos en el país, las técnicas, los procesos, las artes locales, el clima, la región, la gente, la cultura, la identidad y la tradición, han puesto de manifiesto la iniciativa para generar las llamadas denominaciones de origen o por lo menos indicaciones geográficas. Cabe mencionar que “actualmente, existen entre 20 y 40 variedades de quesos mexicanos a lo largo del territorio nacional, entre los cuales destacan: adobera, asadero, bola, chihuahua, chongos, de cincho, cotija, fresco, hoja, jocoque, morral, oaxaca, panela, requesón poro, rueda, sierra, sopero, trenzado, entre muchos otros; sin embargo, ninguno de ellos cuenta con denominación de origen” (Taggedmx, n.d.).

5.3 Quesos y queso de suero del Occidente de México

En el consumo de lácteos del mercado mexicano, los quesos y las leches fermentadas continúan ocupando lugares prioritarios, si bien estas últimas, incluyendo al yogur comercial, se asocia a la salud buscada por los

consumidores actuales. El consumo de quesos más bien está relacionado con la cultura culinaria de nuestro país. Diversas fuentes coinciden en que los quesos que produce la industria láctea formal, de mayor volumen y venta en México, han sido las variedades frescas que suman el 60 % del total (CANILEC, 2021; FIRA, 2019; Secretaría de Economía, 2012; SIAP, 2019); dentro de ellas están el queso Panela, el Oaxaca, el Asadero, el adobera, el Crema y el Doble Crema, entre otros, mientras que una fracción del 30 al 35 % es la que corresponde a los quesos con cierto grado de maduración, como el manchego mexicano, el chihuahua, el cotija y otros quesos tipo europeo que la industria mexicana ya produce; la diferencia porcentual corresponde a la importación de alrededor de 80,000 toneladas anuales de quesos madurados como el gouda, edam, cheddar, parmesano, roquefort, etcétera, cuyos países de origen, son Estados Unidos, Francia, Argentina y Nueva Zelanda (SIAP, 2019).

En el mundo, los quesos producidos de manera artesanal siguen teniendo un amplio consumo, dada su rica calidad sensorial con respecto a sus versiones industriales y la asociación que el consumidor hace de estos quesos y otros alimentos tradicionales, ligado a lo original, a lo natural y la añoranza del terruño (Montel *et al.*, 2014). México no es la excepción, se estima que la venta de quesos artesanales cubre el 40% del mercado del queso en el país (Cervantes-Escoto *et al.*, 2008). En esta sección se presentarán algunos ejemplos de quesos regionales, quesos tradicionales con prestigio e identidad, como son el adobera (de Jalisco), el cotija (de Jalisco y Michoacán), el panela (el queso de mayor consumo en México) y el requesón (queso de suero). Se presentará su procedencia, sus procesos de elaboración artesanal y los parámetros de calidad que les dan identidad. Cada sección se cerrará con los resultados de investigaciones científicas y/o tecnológicas que han contribuido a revalorar y a diferenciar a estos productos regionales, dentro de un mercado dominado por los productos industriales, también a identificar sus propiedades, o inclusive a mejorar o fortalecer su calidad sanitaria, la cual podría considerarse su “talón de Aquiles”.

5.3.1 Queso adobera

El queso adobera es un queso tradicional de Jalisco, también producido y consumido en otros estados del Occidente mexicano, como Guanajuato, Aguascalientes, Zacatecas y Michoacán (figura 5.1). La versión artesanal se elabora con leche cruda (sin pasteurizar) entera de vaca, sin la adición de cultivo iniciador u otros aditivos, por lo que sus ingredientes son básicamente leche entera, cuajo y sal. Es un queso fresco.

Figura 5.2 Queso adobera de Jalisco.



PROPIEDADES

El color marfil de este queso es regularmente una de sus características, y está asociado a la cantidad de grasa de la leche con la que se elabora. En el estado de Jalisco se distinguen dos tipos de queso adobera, el “de mesa” y el “de fundir”, aunque su aspecto y presentación de ambos tipos de adobera sean semejantes, la diferencia entre ellos es la acidificación de la cuajada. Para obtener la variante “de fundir” la cuajada se deja acidificar hasta por 24 horas, lo anterior una vez que la cuajada ha sido desuerada, antes de moldearse y salarse⁹. El primero, el queso adobera “de mesa” (QAM), no funde porque la cuajada no se acidifica durante su elaboración. La siguiente descripción se enfoca a este queso, al QAM.

⁹ El fundido es una propiedad funcional tecnológica con impacto culinario; se refiere a la posibilidad de fundir o derretirse cuando el queso se calienta. El fundido es indispensable para varios platillos típicos como las quesadillas o los chiles rellenos, otros quesos nacionales como el oaxaca, el quesillo y el asadero, presentan esta propiedad, debido a la acidificación de su cuajada, una vez desuerada y antes del moldeado, el amasado, molido o texturizado de la cuajada, según sea el caso.

El sabor y el aroma del QAM son característicos: de lácteo fresco, no picante ni ácido. Su textura es otra peculiaridad de este queso, es suave, se puede cortar o desmoronar fácilmente, esta característica es conocida en quesería como de consistencia friable (Cervantes-Escoto *et al.*, 2008). Su nombre adobera se debe a la forma de prisma rectangular, que resulta de los bastidores de madera que se utilizan como moldes, unos bastidores semejantes se usan para darle forma a los bloques de adobe (ladrillos de barro y paja) utilizados en la construcción. Esta forma de prisma con los bordes redondeados es también otra de sus características distintivas, no así el peso de la presentación, la cual puede variar en piezas de 125 g a 500 g, o más.

La vida útil del QAM depende de la calidad sanitaria de la leche, de la higiene y de las prácticas de producción con la que se elaboró. Aun considerando que este queso se elabora en óptimas condiciones de procesamiento, su vida útil es corta debida a la alta humedad que conserva y puede ser de 15 a 20 días.

PROCESO

El proceso de elaboración consiste en las siguientes operaciones: a) *Recepción* de la leche del día; b) *Filtrado* de la leche, a través de un lienzo para eliminar materia extraña; c) *Calentamiento* de la leche (hasta aprox. 30 - 32°C), en caso de que se haya enfriado; d) *Adición del cuajo*, este ingrediente es de composición enzimática y actividad proteolítica, regularmente es de origen animal, no es específica y puede utilizarse de cualquier marca comercial. Antiguamente los mismos productores de queso lo elaboraban a partir del abomaso o cuarto estómago de bovino o cualquier otro rumiante; e) *Cuajado o coagulación* de la leche, se da por acción enzimática del cuajo, y la operación consiste en el tiempo de espera para que la leche coagule, lo que se identifica cuando se forma un gel firme y homogéneo; f) *Corte* de la cuajada con pala o cuchara de madera (en algunos casos, la quesería pudiera contar con liras o cuchillas apropiadas para tal operación), una vez cortada, se espera el tiempo suficiente para que la cuajada (parte sólida) se separe del suero (parte líquida); g) *Desuerado* de la cuajada: esta operación se realiza por filtración (utilizando cedazos o coladores) o por decantación (vacuando o drenando la parte líquida); h) *Recolección* de la cuajada; i) *Molienda* de la cuajada desuerada. Esta operación consiste en hacer pasar la cuajada drenada a través de un molino apropiado para ejecutar tal operación,

regularmente es del tipo de los molinos de carne, o de piedra que se usa para el nixtamal; j) *Salado* de la cuajada: una vez molida la cuajada, se sala manualmente para lograr la incorporación homogénea de la sal en la pasta del queso; k) *Moldeado* de la cuajada o pasta del queso: esta operación se realiza en moldes apropiados, para darle la forma características del queso; l) *Prensado* del queso: esta operación se realiza ejerciendo una presión moderada, por poco tiempo (2 a 4 h). Regularmente se usa el mismo peso de los quesos en sus moldes apilados en dos o tres niveles, operación que incluye el desmolde, seguida del volteo de la piezas para darle el mismo terminado a ambas caras del producto; m) *Desmolde y protección*, la cual se realiza regularmente cubriendo cada pieza con una película plástica y finalmente, n) *Almacenamiento* del producto en lugar fresco o refrigeración (figura 5.2).

Figura 5.2. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de queso adobera.



EFFECTO DEL TRATAMIENTO TÉRMICO EN LAS PROPIEDADES TEXTURALES DEL QAM

La normativa mexicana permite la elaboración de quesos frescos con leche sin pasteurizar siempre y cuando, la fábrica cuente con un sistema de control, como el análisis de peligros y puntos críticos de control (HACCP)¹⁰

¹⁰ HACCP (Hazard análisis critical control point)

y se pueda identificar su inocuidad gracias a las buenas prácticas de manufactura (BPM) (NOM-243-SSA1-2010). Uno de los argumentos de los artesanos de queso adobera para no cumplir con ella es que perciben que la textura de su queso cambia, si utilizan leche pasteurizada. Con base en estos antecedentes, el CIATEJ estudió el efecto del tratamiento térmico sobre la textura del queso QAM tradicional de Jalisco. Se compararon las cinco marcas más vendidas en la zona metropolitana de Guadalajara (QP -única pasteurizada-; TC2, TC3, TC4, TC5, todas sin pasteurizar). Se compararon los parámetros de textura medida por TPA11: fuerza (force), dureza (hardness), adhesividad (adhesiveness), cohesividad (cohesiveness), elasticidad (springness), resiliencia (resilience), masticabilidad (chewiness) y gomosidad (gumminess), con muestras de queso adobera elaboradas experimentalmente en el laboratorio, siguiendo el método tradicional, la única diferencia fue el uso de leche pasteurizada. Los quesos experimentales fueron elaborados en lotes de 20 L de leche. Tres lotes se pasteurizaron a 63 °C/30 min y tres lotes a 73 °C/10 min. Con el objetivo de texturizar la caseína y propiciar la mineralización del gel formado durante la coagulación de la leche. A cada lote se le añadió una sal diferente: cloruro de calcio, lactato de calcio monohidratado o fosfato de calcio (códigos de las muestras de 63°C: TCl63, TLa63, TF63 y código de las muestras de 73°C: TCl73, TLa73, TF73). Para evaluar el perfil de textura se siguió el método descrito por Tunick & Van Hekken (2010) utilizando un analizador de textura (Stable Microsystems TA-Xt Plus. Surrey, UK).

Los resultados indicaron que los parámetros dureza y cohesión del TPA permiten diferenciar entre las muestras comerciales y las experimentales. Específicamente, las muestras comerciales no pasteurizadas presentaron mayor dureza y menor cohesión mientras que las muestras experimentales presentaron la inversa, menor dureza y mayor cohesión. También se encontró que la dureza de los quesos se reduce entre más alta sea la temperatura del tratamiento térmico; las muestras elaboradas con leche tratada a 63 °C mostraron una dureza entre 12.3 N y 14.4 N y las muestras de 73 °C resultaron con una dureza entre 10.7 N y 12.1 N; por otro lado, las muestras comerciales mostraron un promedio de 16.1 N a 23.0 N. La cohesión, que es una forma de medir la tendencia a mantenerse

¹¹ TPA, por sus siglas en inglés, Texture Profile Analysis. Técnica ampliamente descrita en el capítulo 9.

aglutinadas o unidas las partículas del queso, observó valores superiores a 0.260 y 0.212 respectivamente, mientras que el valor medio de cohesión de las muestras comerciales fue de 0.183, lo que comprueba que efectivamente los quesos tradicionales tienen una tendencia a ser más desmenuzables. No se encontraron diferencias significativas entre las muestras comerciales y las experimentales, con respecto a las diferentes sales agregadas ($P < 0.05$). En la tabla 5.1 se pueden observar los resultados del perfil de TPA de los diferentes quesos evaluados.

Tabla 5.1. Propiedades texturales (perfil TPA) de QDA.

Sample	Force (N)	Hardness (N)	Adhesiveness (N.Sec)	Springiness (dimensionless)	Cohesiveness (dimensionless)	Gumminess (dimensionless)	Chewiness (dimensionless)	Resilience (dimensionless)
QP	24.53±7.94	33.53±9.79	-1.41±1.05	0.35±0.05	0.20±0.14	7.03±2.64	2.37±0.65	0.04±0.05
TC2	17.91±4.11	23.05±5.07	-1.07±0.20	0.28±0.04	0.16±0.01	3.70±1.06	1.05±0.37	0.04±0.003
TC3	18.26±3.85	22.70±5.63	-1.90±0.20	0.29±0.07	0.21±0.02	4.71±0.70	1.34±0.34	0.05±0.01
TC4	12.56±3.55	16.13±5.01	-1.74±0.53	0.32±0.09	0.21±0.05	3.63±1.87	1.27±0.95	0.04±0.01
TC5	14.99±3.95	21.27±4.26	-0.87±0.21	0.37±0.05	0.15±0.01	3.21±0.59	1.18±0.21	0.04±0.001
TC163	14.93±7.60	13.70±12.50	-2.36±0.64	0.62±0.11	0.22±0.03	3.05±3.14	1.98±2.17	0.06±0.015
TLa63	15.66±7.62	14.44±14.46	-2.57±2.46	0.53±0.09	0.24±0.03	3.53±3.87	1.80±1.75	0.07±0.015
TF63	15.37±7.20	12.32±10.53	-1.25±0.98	0.51±0.142	0.31±0.20	3.26±2.78	1.89±1.74	0.11±0.003
TC173	9.55±2.33	11.46±5.24	-0.38±0.07	0.46±0.06	0.20±0.01	2.34±1.10	1.06±0.50	0.04±0.003
TLa73	9.98±2.66	12.15±6.48	-0.34±0.19	0.44±0.03	0.21±0.01	2.46±1.46	1.18±0.69	0.050±0.006
TF73	8.24±2.94	10.77±4.22	-0.38±0.11	0.40±0.07	0.20±0.02	2.24±0.91	0.89±0.36	0.048±0.007

5.3.2 Cotija, el emblemático queso de México

El queso cotija artesanal elaborado con leche entera sin pasteurizar, es el primer queso mexicano que se distinguió con el registro de una indicación geográfica en el año 2005, la marca colectiva: Cotija Región de Origen¹²; también es el primero cuya producción se regula con una norma mexicana de calidad para el Cotija Artesanal Madurado (Norma Mexicana NMX-F- 735 Queso Cotija- Cofocalec 2008 Sistema Producto: Leche Alimentos- Lácteos- Parte 1: Queso Cotija Artesanal Madurado- Denominación, especificaciones y métodos de prueba, 2008). Otra de las distinciones que ha recibido este producto, genuinamente artesanal y proveniente de una región específica, es el primer lugar en la categoría “queso de montaña extranjero”, que obtuvo

¹² La región de origen está delimitada en las reglas de uso que rige su MC, las rancherías esparcidas sobre las laderas templadas de la Sierra Madre Occidental, donde comparten límites los estados de Jalisco y Michoacán. Incluye tres municipios de Michoacán (Cotija, Tocumbo y Los Reyes), y tres de Jalisco (Jilotlán de los Dolores, Santa María de Oro y Quitupan).

en el concurso celebrado anualmente en Cremona, Italia (La Jornada, 2006) (figura 5.3).

QUESO COTIJA REGIÓN DE ORIGEN

Este ha sido uno de los quesos mexicanos más ampliamente estudiados. Aspectos sociales, antropológicos, organizativos y temas sobre el mejoramiento de su calidad, contribuyeron a integrar el expediente con el sustento geográfico y tecnológico para solicitar al Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI) el registro de una indicación geográfica (Barragán-López, 1998; Barragán-López *et al.*, 2007; Chombo-Morales, 2005, 2007). Recientemente sus propiedades funcionales y su distintivo proceso de maduración, han sido abordados también (Chombo-Morales *et al.*, 2016; Escobar-Zepeda *et al.*, 2016; FAO, 2011; Flores-Magallón *et al.*, 2011; Flores Magallón *et al.*, 2010; García-Cano *et al.*, 2014). Todo ello como estrategia para preservar la tradición de su elaboración e impulsar la economía de muchas familias productoras de este queso, de escasos recursos y heredadas del conocimiento de su elaboración.

5.3. Queso Cotija Región de Origen.



Cabe señalar que desde 1998, CIATEJ comenzó el estudio a profundidad de este queso, de ahí que la formación de recursos humanos se multiplicó, al igual que las interacciones con diversas entidades académicas y gubernamentales ocasionaron que este queso se convirtiera en el ejemplo de otros varios quesos (Poro del Río de Tabasco y Crema de Ocosingo) y

de otros productos alimentarios tradicionales que buscan estrategias para evitar su extinción y diluir el patrimonio cultural asociado al conocimiento y saber-hacer de estos productos tradicionales¹³.

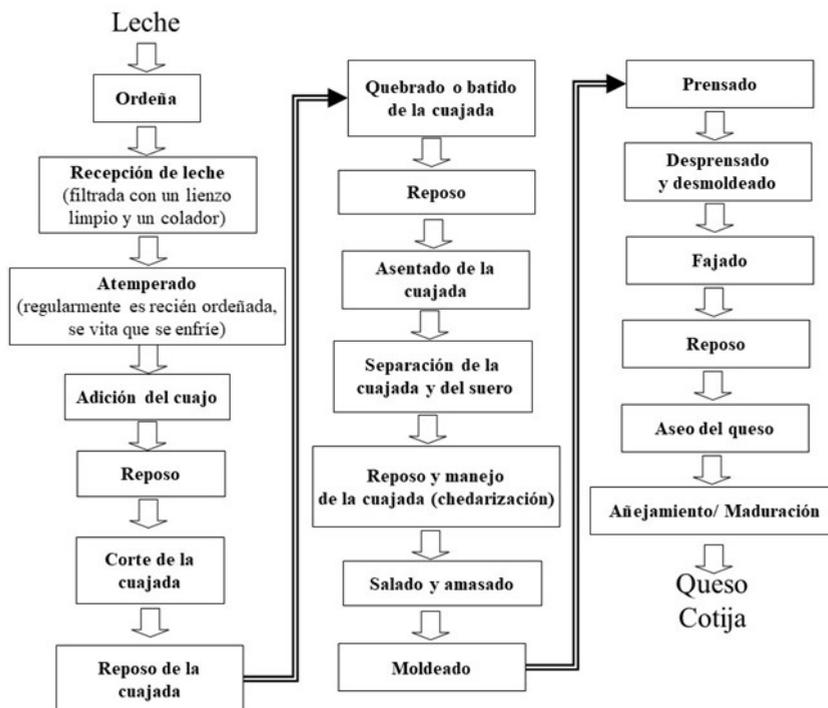
Otras regiones de México como Veracruz y Chiapas también lo producen y también le llaman Cotija, lo cual puede deberse a la dispersión del saber-hacer puede deberse a los desplazamientos de los pobladores de la región donde nació este queso, orillados por los enfrentamientos y luchas sociales durante la Revolución Mexicana y la Cristiada, o desde siempre, a la búsqueda de mejores oportunidades de trabajo o condiciones de vida de los rancheros (Arias, 2005; Barragán-López, 1998). El proceso y propiedades que señalamos en este apartado corresponde al Cotija Región de Origen.

PROCESO DE ELABORACIÓN DEL QUESO COTIJA

La observación en las ranherías de la sierra de Jalisco y Michoacán permitió conocer que la leche para la producción del queso se obtiene por una única ordeña manual matutina, con apoyo del becerro para estimular la bajada de la leche, el resto del día se deja que a la vaca se le junte la leche para que su cría la aproveche. El sistema de explotación de una sola ordeña y el tipo de ganado, cruza de cebuinas y otras razas, permiten que la leche de esta región tenga en promedio 14% sólidos totales (4% de grasa, 3.2 % de proteína, porcentajes sobresalientes al promedio de la leche producida en México (*Reglas de Uso. Marca Colectiva Cotija Región de Origen*, 2005). Las operaciones subsecuentes se muestran en la figura 5.4, todas se realizan a temperatura ambiente y de manera manual. El control de cada operación se sustituye por la experiencia del (de la) artesano(a). En la región de Jalisco, la producción del queso, parte del cuidado del ganado, la siembra del forraje y la ordeña, hasta la comercialización, es un ejemplo de cadena productiva, en la que participan todos los miembros de la familia desde la más tierna edad, sin distinción de edad o de género (Barragán-López, 1998).

¹³ Más lecturas, extensos de congresos, simposios y tesis de pregrado y posgrado, se podrán encontrar en bibliotecas como evidencia de esas investigaciones desarrolladas por diversas instituciones (CIATEJ, COLMICH, CIESAS, UNAM, INIFAP, UdeG, CIDIR, COLPOS, Universidad Autónoma Chapingo, UAEM, entre otras) y que por razones de espacio no se citan en este apartado.

Figura 5.4. Diagrama de operaciones del proceso artesanal de queso Cotija Región de Origen (fuente investigación propia).



Dentro de las operaciones que distinguen al cotija del proceso de otros quesos, está el manejo de la cuajada desuerada, operación conocida en quosería como chedarizado, que consiste en el apilamiento de bloques de la pasta del queso, una y otra vez, para agudizar el desuerado, al tiempo que se inicia una lenta acidificación debida a los microorganismos ácidos-lácticos nativos de la leche y característicos de la región y del ambiente lechero de la leche sin pasteurizar. El salado consiste en amasar la pasta chedarizada o malaxado con la sal, lo que permite la distribución homogénea de la sal. El prensado también es característico y se lleva a cabo tradicionalmente en los quesos dentro de su molde conformado por cinchos de madera o aros¹⁴, forrados en su interior con dos lienzos de ixtle o de algodón¹⁵ en los que

¹⁴ Los artesanos modernos utilizan moldes metálicos en lugar de aro.

¹⁵ El material de los lienzos permite obtener el dibujo distintivo marcado en la superficie de este queso.

se envuelve cuidadosamente la pasta para evitar bordes o malformaciones, el conjunto es sujetado firmemente por cuerdas y se prensa por 12 a 18 h; después de trascurrido este tiempo, la pieza se descubre de las mantas, a partir de ese momento la superficie del queso se aseá diariamente con un lienzo limpio, alternando la superficie expuesta, se libera del aro quince días después o hasta que no haya desuerado. Finalmente, la operación distintiva de este queso es la maduración, la cual comienza una vez se desmolda el queso del aro. El proceso está cobijado por las condiciones ambientales y el proceso de aseos diarios de las superficies del queso.

ALGUNAS PROPIEDADES DISTINTIVAS DEL QUESO COTIJA.

Por la forma y condiciones con las que se elabora, el queso cotija pertenece a la familia de los quesos italianos semisecos, de pasta molida y prensada, como el parmesano y sus variantes. No obstante, también es cercano a otros quesos franceses, como el cantal y el salers. Además de su gran formato, su principal característica es su potencial de maduración. En los quesos, la maduración es un proceso bioquímico que transforma paulatinamente los componentes (grasa, proteínas, lactosa) de la pasta del queso fresco, en donde las enzimas de origen lácteo, microbiano y del propio cuajo los desdoblan y modifican química y funcionalmente, las reacciones que acontecen en el interior del queso con el paso del tiempo dan lugar a propiedades fisicoquímicas y sensoriales distintivas de cada queso.

El queso cotija tradicional es de gran formato, cilindros de 40 cm de diámetro por 20 cm de alto, en promedio de 20 kg, su composición promedio es de 23% de grasa, 20 % de proteína y 35% de humedad. Los queseros describen su producto como, “de tajo” cuando su consistencia varía entre suave, cremosa y cómodamente se rebana, y “de grano”, cuando es firme y se desmorona con facilidad. La forma resultará “de grano” entre mayor adición de sal y viceversa. Se obtiene una consistencia “de tajo” cuanto menor sea el contenido de sal. Adicionalmente, la leche con mayor contenido de grasa favorece la consistencia de la variedad “de tajo” del queso.

EFEECTO FISICOQUÍMICOS DE LAS CONDICIONES DE MADURACIÓN

Los estudios preliminares al trabajo presentado por Chombo-Morales *et al.* (2016), mostraron que, el modificar las condiciones de maduración del queso cotija (ambiente de temperatura y humedad relativa controlada

vs. ambiente natural del clima de verano de la región de JalMich, al que se maduran tradicionalmente las pieza de queso), no se encontró mayor efecto en las propiedades fisicoquímicas ni en el crecimiento de los microorganismos nativos que se desarrollaron durante el tiempo de maduración evaluado. Por lo contrario, en la sección del queso (centro, medio o superficie) figura 5.5 los resultados sugirieron cinéticas con comportamiento de gradientes de algunos solutos, que contribuyen a mantener un pH más ácido, más húmedo y menos salado en el centro del queso que en la superficie (figuras 5.6 a, b, c, d). Estos resultados se relacionaron con la diferencia encontrada en microbiología autóctona del cotija, la cual se compone de varias especies de bacterias ácido-lácticas, bacterias no-acido-lácticas y levaduras, también de manera diferenciada con respecto al segmento del queso, como lo demostró este grupo de investigadores en su trabajo. Esta diversidad microbiana derivada del uso de la leche sin procesar, más el cuidadoso manejo durante la elaboración y maduración, en un ambiente climático propicio, contribuyen al desarrollo de sus propiedades fisicoquímicas y de hecho a la inocuidad de este queso (FAO, 2011). Los resultados refuerzan la importancia de la etapa de maduración por las características distintivas del cotija, incluidas sus potenciales propiedades biofuncionales.

Figura 5.5. Representación gráfica de los gradientes de las propiedades fisicoquímicas evaluadas en las secciones del queso cotija.

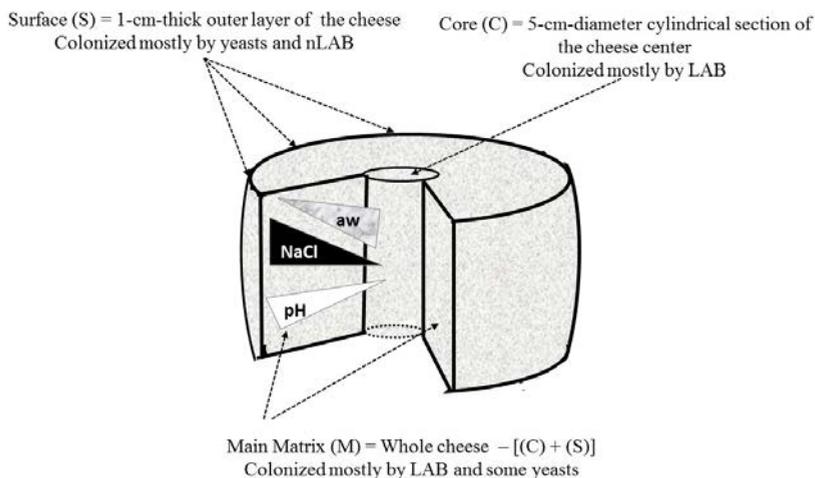
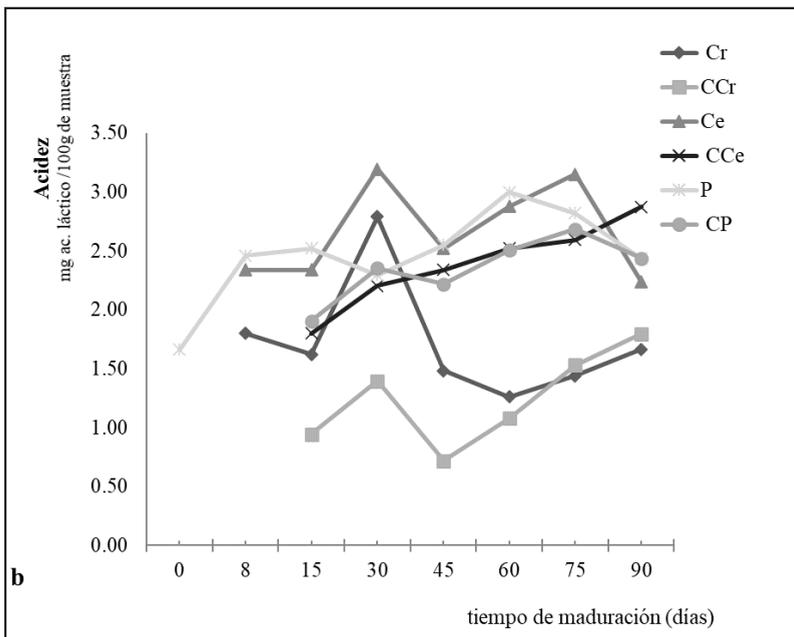
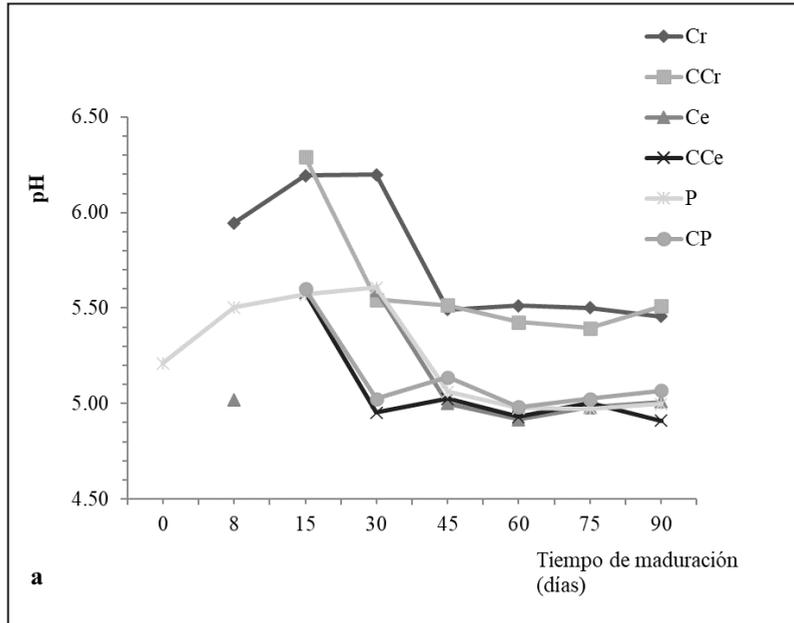
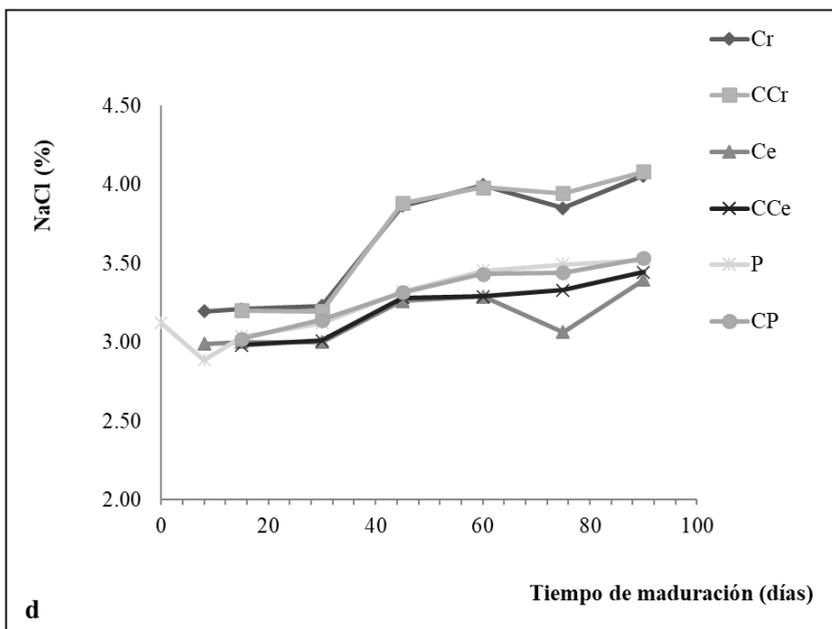
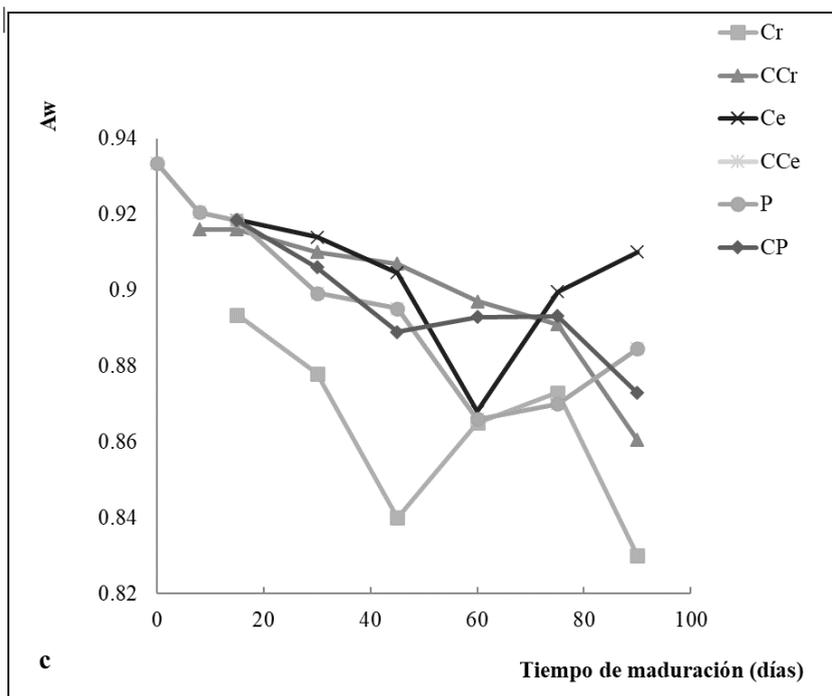


Figura 5.6. Cinéticas de (a) pH, (b) actividad de agua y (c) concentración de sal (NaCl) en diferentes secciones del queso Cotija madurado en diferentes condiciones. Ambiente natural: Cr (corteza), Ce (centro), P (interior de la pasta). Ambiente controlado CCr (corteza), CCE (centro), CP (interior de la pasta) en piezas de 20 kg de queso cotija durante 100 días.





COMENTARIOS FINALES SOBRE EL QUESO COTIJA REGIÓN DE ORIGEN

El queso cotija ha sentado el precedente para que otros quesos regionales busquen diferenciarse de los industriales, apoyados de las instancias de fomento, científicas y tecnológicas, lo que ha permitido extender el conocimiento de su existencia, evitar que el conocimiento del saber hacer desaparezca; abrir nuevos mercados basados en su origen y calidad y en paralelo lograr que esta actividad siga siendo fuente de ingreso para los artesanos que lo producen.

5.3.3 *Queso panela*

PROPIEDADES.

Es el más sencillo de todos los quesos frescos, no sólo por la forma de obtenerse, sino por su aspecto y vida útil. Es uno de los quesos ampliamente producidos y consumidos en el país (CANILEC, 2021; FIRA, 2019). Se obtiene mediante la cuajada enzimática de la leche, es decir, mediante la adición de cuajo, sólo lleva sal como ingrediente adicional. La consistencia del queso panela es muy apreciada por el consumidor, debido a que es suave y con alta humedad, y entre más fresco su color será más blanco y brillante (figura 5.7). Su presentación puede ser diferente en cuanto al peso, pero su forma regularmente remite al cesto de fibra natural o plástico que se usa como molde para darle su forma característica y además sirve para separar la cuajada del exceso de suero (González-Córdova *et al.*, 2016). Se produce prácticamente en todo el territorio mexicano (Cervantes-Escoto *et al.*, 2008).

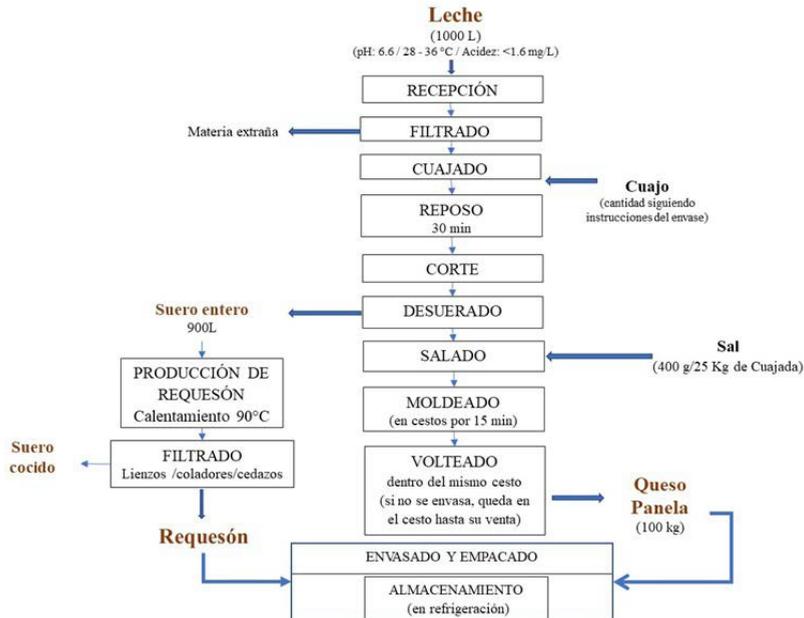
Figura 5.7. Queso Panela



PROCESO

En la figura 5.8 se puede observar la secuencia de operaciones del proceso para obtener un queso panela tradicional. Se parte de leche entera, enseguida se cuaja, se espera el tiempo necesario para que se coagule la leche y se moldea en cestos típicos. Cabe resaltar que los quesos se clasifican por su frescura (frescos o madurados), formación de cubierta natural o inoculada (brie), contenido de grasa (queso doble crema) y otros atributos. También se pueden clasificar por la forma de cuajar la leche (cuajada ácida, enzimática o mixta). El queso panela tradicional es un queso de cuajada enzimática, pues la leche se cuaja por la adición exclusiva de cuajo, no se adiciona ácido ni cultivo iniciador para acidificar la cuajada. Aunque es uno de los quesos más consumidos en México, no hay reportes abundantes al respecto de su calidad y composición nutricional, sin embargo, está regido por una norma de calidad para los procesos industriales que pueden servir de referencia (NMX-F-742-COFOCALEC-2012 SISTEMA PRODUCTO LECHE - ALIMENTOS - LÁCTEOS - QUESOS PANELA - DENOMINACIONES, ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA, 2012). De acuerdo a la revisión realizada recientemente sobre las investigaciones en quesos mexicanos por González-Córdova *et al.*, (2016), se han encontrado diversos géneros de bacterias ácido-lácticas y levaduras como *Lactococcus*, *Enterococos* y *Candida guilliermondii* dentro de la microbiota de queso panela.

Figura 5.8. Diagrama de bloques de operaciones para la obtención de queso panela y requesón.



5.3.4 Requesón (queso de suero)

No se puede pasar por alto en este espacio, tocar el tema del requesón, debido a la relevancia que tiene como alimento tradicional y por su aporte nutricional, aspecto que comienza a ser abordado en las investigaciones actuales. El requesón es poco producido a escala industrial en México, no obstante se regula con una norma de calidad (NMX-F-755-COFOCALEC-2015 sistema producto leche - alimentos - lácteos - queso adobera - denominaciones, especificaciones y métodos de prueba, 2015) e inclusive, en los listados se agrupa en un concepto genérico quesos y requesón en las estadísticas de producción, importación y exportación que reporta la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural en su *Boletín de leche* (SIAP, 2019). Sus homólogos extranjeros son el queso ricotta, italiano; el broccio, corso y el queso de suero latinoamericano (Bernard, 1994). Conceptualmente es el concentrado proteico de suero de la quesería, obtenido por coagulación de las proteínas séricas de la leche, por lo que también es conocido como queso de suero. El *Codex Alimentarium* como “productos sólidos, semisólidos o

blandos, obtenidos principalmente a partir de la coagulación de las proteínas del suero por calentamiento con o sin agregado de ácido o la concentración del suero y moldeado del producto concentrado”. La versión artesanal del queso de suero, el requesón, tiene un amplio mercado en nuestro país. Su producción y consumo está orientado a mercados locales, la explicación puede deberse a su limitada vida de anaquel, derivada de su alto contenido de humedad ($> 80\%$) y a los métodos de obtención rústicos (figura 5.9).

Figura 5.9. Requesón.



PROCESO.

En la figura 5.8 mostrada en el apartado anterior, se observa cómo a partir del suero que se libera de la producción de queso panela, se obtiene el requesón. En realidad, este producto se puede obtener a partir del suero de cualquier tipo de queso. El proceso consiste en calentar el suero arriba de 85°C , acidificándolo para lograr mayor rendimiento, el coágulo resultante es muy suave, se desintegra fácilmente, por lo que su recuperación es la más comprometida en tiempo, técnica y sanitariamente; se realiza mediante filtración cuidadosa con cedazos, coladores o lienzos. Es común que le agreguen un aglutinante (como harina de trigo o almidón de maíz) para facilitar su recuperación.

PROPIEDADES.

Como se sabe, las proteínas del suero son de las más nutritivas, son altamente digestibles, contienen un perfil amplio de aminoácidos esenciales que el ser humano necesita para su funcionamiento normal, pero no las sintetiza por sí mismo. Contienen aminoácidos azufrados distinguidos por su actividad biológica (Da Silva *et al.*, 2017; Dullius *et al.*, 2018; Mosquera, 2015).

5.4 Queso enchilado añejo de Zacatecas. Explorando sus propiedades microbiológicas

En el mundo existen aproximadamente mil tipos distintos de queso (la mayoría artesanales) con una amplia variedad de texturas, aspectos visuales, aromas y sabores, en donde las características de las cortezas de los quesos ayudan a definir el tipo de queso y determinan en gran medida su sabor, en donde el proceso de elaboración está relacionado fuertemente a la tradición y cultura, especialmente de hogares y comunidades rurales (Irlinger *et al.*, 2015). El conocimiento tradicional del procesamiento del queso ayuda a mantener la diversidad de la microbiota y la riqueza organoléptica en los quesos tradicionales (Montel *et al.*, 2014). El queso añejo enchilado de Zacatecas es un ejemplo de los quesos tradicionales mexicanos, el cual puede tener o no cobertura o superficie enchilada. Este queso es elaborado con leche sin pasteurizar, la cuajada es obtenida por adición de cuajo de becerro. Posteriormente, la cuajada es salada, escurrida, molida y moldeada, finalmente el queso es prensado (Guzmán-Hernández *et al.*, 2004). Cervantes Escoto *et al.*, 2008, han contribuido a la descripción del queso añejo de Zacatecas, reportando que las piezas de este queso tienen forma cilíndrica o de barra, las cuales pueden ser maduradas o añejadas por dos años, por lo que es considerado perfecto para rallarse (figura 5.10). Opcionalmente, la superficie de este queso puede cubrirse con una mezcla de chile rojo, guajillo o ancho, la cual puede llevar otros ingredientes como el vinagre. El queso añejo enchilado de Zacatecas es un producto típico y popular en varios municipios aledaños a Zacatecas, sin embargo, tal y como sucede en varios de nuestros productos tradicionales, las variables del proceso de elaboración y sus propiedades no se han documentado. Lo anterior impide procesos de estandarización, mejora y certificación de su calidad, así como el acceso a mejores mercados.

Figura 5.10. Queso enchilado añejo de Zacatecas.



DOCUMENTACIÓN DEL PROCESO Y DE LAS PROPIEDADES MICROBIOLÓGICAS

Con la finalidad de documentar el proceso y contribuir a establecer los atributos distintivos de este producto de la gastronomía mexicana, se realizó en CIATEJ el primer estudio sobre las propiedades microbiológicas de este queso.

METODOLOGÍA

La descripción del proceso de elaboración del queso fue el resultado de la observación directa a una unidad de producción localizada en la localidad La Cruz, en el municipio de Monte Escobedo, Zacatecas donde la secuencia, los tiempos de las operaciones y los parámetros fisicoquímicos del proceso de elaboración fueron monitoreados.

Se tomaron 9 muestras de queso, una de ellas fue de la quesería artesanal antes mencionada y las 8 muestras restantes, fueron obtenidas de mercados locales en el municipio de Jerez, Zacatecas. Las localidades de donde provenían, así como los aspectos visuales y dimensiones fueron registrados. Una porción de cada ejemplar fue almacenada a 18 °C hasta su análisis.

Se dividieron las muestras en dos secciones, considerando a la corteza o superficie externa del queso como parte interior del queso; para ello, una capa de 0.5 cm fue separada de la superficie. Para enumerar los microorganismos, 10 gramos de cada sección de queso molidos fueron

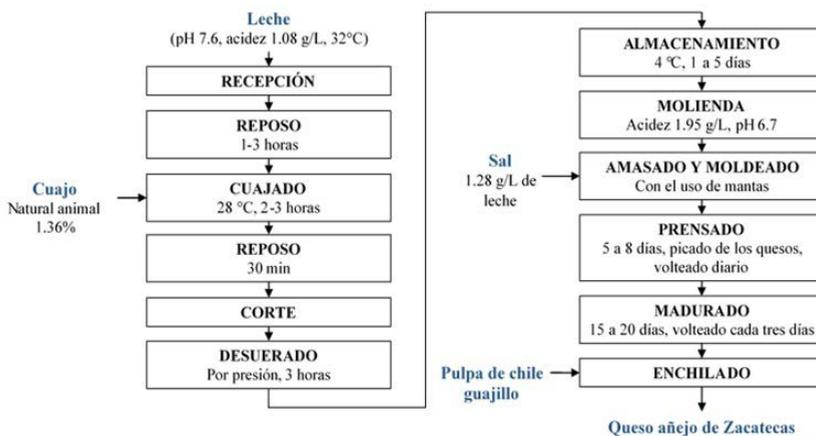
pesados y posteriormente homogenizados y diluidos en 90 ml de agua peptonada amortiguada (Difco™). Después, las diluciones decimales seriadas fueron sembradas en agar cuenta estándar (Merck™) e incubadas a 32 °C / 48 h para enumerar bacterias mesófilas aerobias (BMA); en agar bilis rojo violeta (Bioxon™) a 37°C / 48 h para evaluar coliformes totales (CT). Para enumerar las bacterias ácido-lácticas (BAL) las diluciones fueron sembradas en agar MRS (Difco™) e incubadas anaeróbicamente a 32 °C / 48 h. Los mohos y levaduras (M y L) fueron crecidos en agar papa dextrosa (APD) (Bioxon™) a 26 °C por 72 h o hasta 120 h en los casos donde el crecimiento no fuera detectado (Chombo-Morales *et al.*, 2016), los análisis microbiológicos se realizaron por duplicado.

Los aislamientos de BAL y levaduras fueron identificados mediante el uso de espectrometría de masas, desorción/ionización láser, asistida por matriz en tiempo de vuelo en un equipo Microflex LT/SG MALDI-TOF MS System (Bruker-Daltonics), utilizando el software MALDI-BIOTYPER RTC y aplicando el método MBT_FC. Los espectros generados se compararon con la librería BDAL. El criterio para una identificación exitosa se estableció con un puntaje mayor a 1.7.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El proceso de elaboración del queso añejo de Zacatecas se presenta en la en la figura 5.11 en la cual se representa la secuencia de operaciones para obtener este queso. Dentro de las operaciones distintivas está el almacenamiento de la cuajada después del desuerado, el cual tiene el objetivo de darle firmeza a la cuajada así como controlar o evitar que se acelere una acidificación espontánea, sino por el contrario, que la pasta desarrolle acidez ligera y progresivamente (1.95 g/L expresada en ácido láctico). Llama la atención el formado de las piezas a manera de disco, que se lleva a cabo de manera totalmente manual, sin molde. Finalmente, el enchilado de la superficie con la pasta del chile guajillo local es la operación más distintiva de este queso.

Figura 5.11. Diagrama de bloques del proceso de elaboración del queso añejo de Zacatecas, de la localidad de La Cruz.



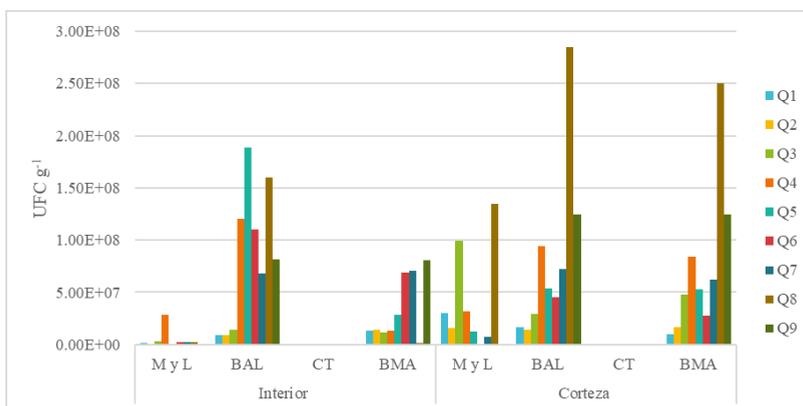
Se encontraron variaciones en el proceso de elaboración del queso añejo de Zacatecas a las reportadas anteriormente por Cervantes-Escoto *et al.*, (2008), que consisten en el almacenamiento de la cuajada en refrigeración, la práctica del “picado”, los tiempos y secuencias de maduración y enchilado.

Tabla 5.2. Microorganismos aislados e identificados de diferentes partes de los quesos añejos de Zacatecas

Microorganismo	Colonias aisladas de la corteza					Colonias aisladas del interior										
	Queso					Total Corteza	Queso					Total Interior				
	4	5	6	7	8		9	4	5	6	7		8	9		
<i>Candida famata</i>			1			1					2					
<i>Candida zeylanoides</i>			2				2									
<i>Lactobacillus brevis</i>		1		2			3		1	1					2	
<i>Lactobacillus curvatus</i>										2					2	
<i>Lactobacillus paracasei</i>			2		1		3		2	1	1	1			5	
<i>Lactobacillus plantarum</i>		3	2	3		2	10		1	4	4	3	1	2	15	
<i>Lactococcus lactis</i>		3				3	6		1		2				3	
<i>Leuconostoc mesenteroides</i>						2	2				4				4	
Total general		4	6	4	5	5	4		28		4	5	5	5	6	31

Las cuentas de BAL, de M y L, BMA y CT se muestran en la figura 5.12, se observa que las cuentas de BAL son el principal grupo microbiano encontrado en estos quesos y fueron relativamente uniformes. Los microorganismos identificados en los quesos son presentados en la tabla 5.2, donde fue posible aislar, tanto de las cortezas como de los interiores de los quesos, *Lactobacillus brevis*, *L. paracasei*, *L. plantarum*, *Lactococcus lactis* y *Leuconostoc mesenteroide*, siendo *L. plantarum*, la especie que se aisló más frecuentemente tanto en las cortezas como en los interiores de los quesos. La bacteria *L. curvatus* se aisló únicamente del interior de los quesos Q7 y Q8, lo cual indica la relevancia de esta microbiota en los quesos, ya que tienen un rol importante debido a su potencial tecnológico y de biopreservación (Hammami, *et al.*, 2019). La población de levaduras es más diversa en la corteza de los quesos, siendo el género *Candida*, la dominante en ambas secciones del queso. La levadura *C. zeylanoides* se encontró distribuida en mayor proporción en las cortezas que en los interiores. Las levaduras en los lácteos comparten características fisiológicas y bioquímicas entre ellas, tales como la fermentación o asimilación de la lactosa o la galactosa, alta actividad proteolítica o lipolítica, utilización del ácido láctico o cítrico, el crecimiento a bajas temperaturas y la tolerancia a altas concentraciones de sal (Jacques & Casaregola, 2008).

Figura 5.12. Cuenta de los grupos microbianos encontrados en los quesos añejos de Zacatecas (UFC: Unidades Formadoras de Colonias).



COMENTARIOS FINALES SOBRE EL QUESO AÑEJO ENCHILADO DE ZACATECAS

Conocer la microbiota nativa del queso añejo enchilado de Zacatecas, permite asociar su tipicidad a su potencial bio-funcional y tecnológico, debido a la diversidad de bacterias ácido-lácticas y levaduras que intervienen en su calidad, lo cual puede contribuir a diferenciarlo entre otros quesos artesanales.

5.5 Jocoque

“El que se quemó con leche, hasta al jocoque le sopla”

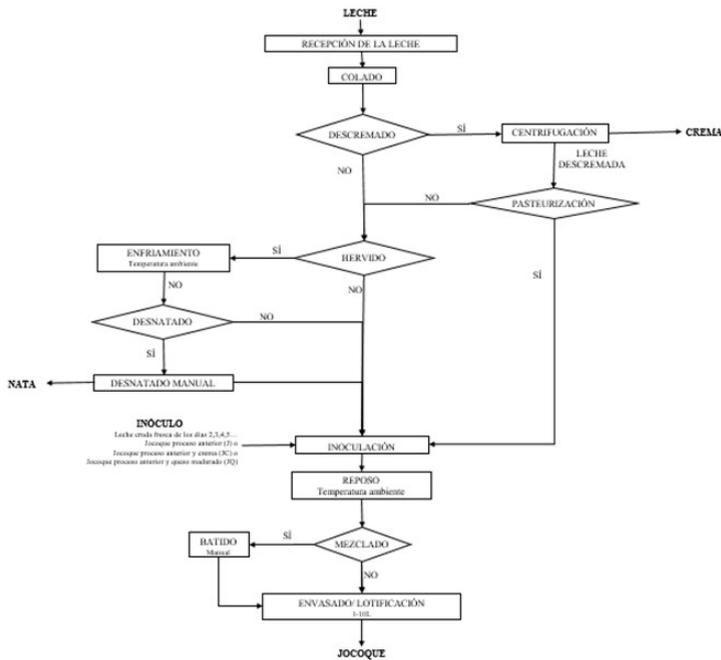
El jocoque, es un producto de leche fermentada, con consistencia semi pastosa de color blanco de sabor ácido (de aquí su nombre, ya que el vocablo jocoque viene del náhuatl “xococ” que quiere decir agrio), es rico en proteínas y ampliamente consumido en México, tradicionalmente en los desayunos, acompañado de tortillas calentitas, chile de molcajete, frijolitos, etcétera Los estados representativos de la producción de jocoque son: Jalisco, Nayarit, Colima, Michoacán, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Tlaxcala, Puebla y Oaxaca (Thouvenot & Manríquez, 2014; Cervantes-Escoto, 2008) (figura 5.13).

Figura 5.13. Jocoque.



Existen diversas formas de preparar el jocoque en las diferentes regiones de México, regularmente se produce de forma artesanal, utilizando como materia prima, leche obtenida mediante ordeña manual, de pequeños productores que tienen entre 5 y 10 vacas de ordeña, esta leche la pueden descremar o hervir, o hervir y desnatar, en algunos casos pueden utilizar crema y en muy pocos pueden utilizar leche pasteurizada. El proceso de elaboración es diferenciado en cada unidad de producción (figura 5.14), cada lugar tiene un toque particular en su proceso que le da un sabor, apariencia y composición, influenciada por la leche de la cual se elabora, esta a su vez influenciada por el ganado, su salud y su alimentación, el proceso de elaboración y el medio ambiente, sin embargo, en todos los casos la leche debe ser limpia, libre de sólidos ajenos a la leche y sin antibióticos, la leche que proviene de vacas que están recibiendo algún tratamiento inyectable o cutáneo, no puede ser utilizada en este proceso, los antibióticos inhiben el proceso de fermentación, además de que pueden cambiar el olor y el sabor del producto obtenido.

Figura 5.14. Diagrama de proceso de elaboración de jocoque artesanal.



El inoculo que contiene los microorganismos que harán la fermentación tiene una gran influencia en las características finales del jocoque. El inoculo puede contener la microbiota propia de la leche utilizada o la del fermento anterior, o bien, la presente en quesos madurados o crema de leche. Una vez inoculado, se inicia oficialmente la etapa de fermentación, durante la cual se producen cambios químicos en las sustancias orgánicas producidos por la acción de las enzimas provistas por organismos como bacterias y levaduras. La lactasa es una enzima que hace que la leche se agrie (acidifique), en este proceso se divide la lactosa (disacárido) en glucosa y galactosa (monosacáridos) y ácido láctico. Una persona que sea intolerante (no alérgico) a la lactosa de la leche podría tomar alimentos totalmente fermentados sin tener que preocuparse. Una vez terminada la fermentación, se puede realizar un corte, mezclando suavemente, dejando “grumos” permitiendo la percepción visual de una pasta poco homogénea. En caso de que se mezcle vigorosamente, deja una pasta de apariencia suave y muy homogénea. En esta etapa se decide si se continúa con la terminación del producto o con el proceso de desuerado, el cual se hace por gravedad, utilizando un filtro bolsa, normalmente hecho de tela y así obtener un producto semi pastoso o pastoso. Normalmente se vende a granel y entre vecinos.

En la actualidad el jocoque, debido a sus propiedades nutritivas y sensoriales, cada vez tiene mejor aceptación entre los consumidores, se puede encontrar jocoque elaborado industrialmente y jocoque artesanal, cada uno con características propias. Su calidad es un aspecto que preocupa a las familias mexicanas, ya que está relacionada con los conceptos y percepciones de los consumidores, en el caso del jocoque artesanal, la familia más cercana al productor, es el principal consumidor y considerando que la calidad, es la totalidad de rasgos y características de un producto, dirigido a satisfacer las necesidades del consumidor (Norma ISO 9000/2005), los productores buscan que realmente sea un alimento nutritivo.

Partiendo de que el jocoque es un producto de leche fermentada, se tomó como base la definición de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), que define a la leche fermentada como un producto lácteo obtenido por medio de la fermentación de la leche, que puede haber sido elaborado a partir de productos obtenidos de la leche

con o sin modificaciones en la composición según las limitaciones de lo dispuesto en la Sección 3.3, (sección que se encuentra en la misma norma y que hace referencia a los porcentajes de composición) por medio de la acción de microorganismos adecuados y teniendo como resultado la reducción del pH con o sin coagulación (precipitación isoeléctrica). Estos cultivos de microorganismos serán viables, activos y abundantes en el producto hasta la fecha de duración mínima. Si el producto es tratado térmicamente luego de la fermentación, no se aplica el requisito de microorganismos viables.

Haciendo referencia a las regulaciones nacionales que aplican para la elaboración de jocoque se encuentran las emitidas por el Consejo para el Fomento de la Calidad de la Leche y sus Derivados (COFOCALEC), como la que se refiere a la determinación de inhibidores bacterianos en leche (NMX-F-719-COFOCALEC-2008) la cual está directamente relacionada con que se pueda o no elaborar jocoque. Normalmente, la microbiota que participa son lactobacilos, aunque también pueden encontrarse levaduras y cocos (figura 5.15) y aunque las regulaciones actuales no especifiquen valores límites, respecto al contenido de estos microorganismos, debido a que es un producto fermentado, es importante evaluarlas. En la tabla 5.3, se presentan los resultados obtenidos de esta determinación en una muestra de jocoque de la Región de Ciénega-Ocotlán (RCO) y otra de la Región Altos Sur-Arandas (RSA), ambas del estado de Jalisco.

Figura 5.15. Microfotografía de jocoque artesanal.

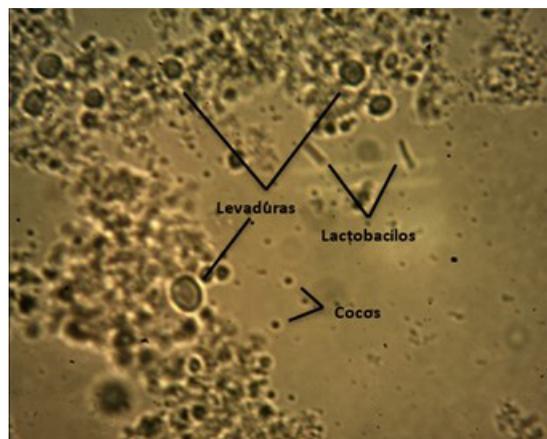


Tabla 5.3. Recuento de diferentes grupos microbianos de muestras de jocoque provenientes de dos regiones de Jalisco. Ciénega-Ocotlán (RCO) y otra de la Región Altos Sur-Arandas (RSA).

Grupo microbiano	RCO (UFC/g) ¹	RASA (UFC/g) ¹
Bacterias mesofílicas aerobias	770 000	1700000
Hongos y Levaduras	1 420 000	123000
Coliformes totales	< 10	210

¹UFC/g Unidades formadoras de colonias por gramo

Hay estudios que muestran que la fermentación de la leche con lactobacilos aumenta la disponibilidad, digestibilidad y asimilación de nutrientes, además, se ha estudiado la capacidad de supervivencia en las condiciones ácidas del estómago y adhesión al intestino de algunas cepas como *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus*, etcétera (Conway *et al.*, 1987), aunque esto depende de la cantidad de microorganismos presentes en el alimento, se ha demostrado que los productos lácteos fermentados son portadores óptimos para administrar bacterias probióticas vivas, ya que las protege de manera eficiente durante el tránsito intestinal hasta el sitio de acción (Settanni & Moschetti, 2010). Investigaciones han reportado que *L. reuteri*, *L. acidophilus* y *L. bulgaricus* son útiles en el tratamiento para la diarrea de tipo viral (Claudia Manzano *et al.*, 2012) y que *lactobacillus* y *bifidobacterium* coadyuvan en la disminución de los niveles de colesterol y lipoproteínas de baja densidad (LDL), así como al aumento en los niveles de lipoproteínas de alta densidad (HDL), estos efectos son atribuidos a los esfingolípidos presentes en el yogur (Sadrzadeh-Yeganeh *et al.*, 2010).

CONSIDERACIONES FINALES

El jocoque es un producto de leche fermentada, que presenta un sabor característico, influenciado por la interacción de los componentes de la leche y los microorganismos presentes, es un excelente sustituto de la crema y aderezos en los platillos cotidianos, es bajo en lactosa y tiene un importante aporte nutritivo en calcio, proteínas, grasas y carbohidratos.

5.6 Cajeta y otros dulces con base en leche

En México al decir la palabra “dulce” se abre un universo de sensaciones y de productos que nos incitan a comer una deliciosa golosina tradicional. Es de considerarse importante la aportación de la caña de azúcar que hicieron los españoles a nuestra gastronomía, la cual fue un detonante para el desarrollo de la dulcería regional y de las confituras elaboradas en los conventos que comienza a manifestarse hacia los últimos años del siglo XVI y comienzos del XVII. Cuando la elaboración y consumo de azúcar se incrementó sustancialmente entre las clases acomodadas, los colonos de la Nueva España sentían especial inclinación por el consumo de alimentos con azúcar que, al ser combinada con fruta, canela, leche y con ayuda del calor, era el ingrediente principal de postres caseros y dulces regionales (Jaime Castro Resendiz, 2011).

Ese gusto prevalece hasta nuestros días y cada estado o región que forma parte de México tiene su propia lista de productos elaborados con base en leche y azúcar. Entre los más representativos se encuentran: la cajeta, las glorias, jamoncillos o dulces de leche, chongos, obleas de cajeta, chiclosos y rollos de nuez.

La cajeta es un derivado lácteo que remonta su origen a la época colonial de la región del bajío, hoy Celaya, Guanajuato. Su nombre se deriva del cajete de madera de tejamanil de pino que era utilizado para envasar de forma artesanal el producto. En algunos países de América latina se elaboran productos similares que reciben el nombre de dulce de leche (Argentina, Uruguay, Bolivia, Paraguay, Puerto Rico), manjar (Chile), arequipe (Colombia y Venezuela y Guatemala) sin embargo, México es de los pocos lugares del mundo en donde la cajeta es elaborada con leche de cabra.

En esta sección se describirán las características de la cajeta y dulces de leche, su proceso y especificaciones de calidad que debe cumplir el producto antes de ser comercializado.

5.6.1 Cajeta

La cajeta es considerada como uno de los postres más antiguos que remonta su origen a la época colonial de la región del bajío, hoy Celaya, Guanajuato, la cual debe su nombre en el caso de México, a los cilindros hechos de láminas de madera de tejamanil, llamados cajetes y al uso de la leche de cabra como principal insumo (SIAP, 2018) (figura 5.16).

Figura 5.16 Cajeta.



Los principales estados de la república mexicana productores de leche caprina se encuentran en Coahuila (27.4%), Guanajuato (24.8%) y Durango (15.5%). En el 2019 se produjeron 161 millones 901 mil litros. Las unidades de producción destinan entre el 70 al 80 % a la elaboración de dulces típicos y el resto para la fabricación de quesos (SIAP, 2020). La elaboración de cajeta en México se realiza principalmente en Guanajuato (Guanajuato, Celaya, León, Irapuato, Juventino Rosas y Apaseo el Grande) y en la zona denominada Ciénega de Chapala que comprende los estados de Jalisco y Michoacán con productores en Sayula, San Juan de los Lagos, La Barca/Zamora, La Piedad, así como en San Luis Potosí (Matehuala). Los volúmenes de producción promedio de cajeta tradicional son 130 L/día. En 2017 las ventas mexicanas de cajeta al exterior tuvieron como destino a 15 países, encabezando las exportaciones a Estados Unidos (SIAP, 2018).

PROPIEDADES

La Norma Oficial Mexicana (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, 2010) clasifica a la cajeta como un dulce de humedad intermedia (12-20%). Es un producto que se elabora por concentración mediante evaporación de sólidos de leche y de sacarosa u otros edulcorantes, ocasionando pardeamiento no enzimático que le imparte su color característico durante el proceso. Comercialmente está disponible en forma natural, envinada, quemada o sabor vainilla, en fechas recientes se han introducido variantes del producto por ejemplo endulzada con jarabe de agave para diabéticos o cajeta baja en grasa.

La norma mexicana (NMX-F-743-COFOCALEC-2019. Sistema Producto Leche – Alimentos – Lácteos – Alimento Regional – Cajeta y Cajeta Para Repostería, 2019) define a la “cajeta” como el producto elaborado con leche fluída, 100% de cabra o 100% de vaca (no se permite la mezcla de estas leches), adicionada de azúcares u otros aditivos e ingredientes permitidos, con excepción de almidones de cualquier tipo, que se trata térmicamente hasta obtener la viscosidad y color necesarios que caracterizan al producto.

En esta misma normativa se incluye a la “cajeta para repostería” como el producto elaborado con leche fluída, 100% de cabra o 100% de vaca, azúcares u otros edulcorantes, que se trata térmicamente, pudiendo ser adicionado de saborizantes, colorantes, ingredientes opcionales, conservadores y otros aditivos permitidos, incluido el almidón, para darle al producto características tecnológicas (consistencia, densidad, punto de fusión, etcétera) especiales para la aplicación industrial, como panadería, repostería, confitería y heladería.

Algunos ingredientes utilizados son glucosa, sacarosa, canela, bicarbonato de sodio y conservadores como benzoato de sodio y/o sorbato de potasio.

Las especificaciones de calidad y sanitarias son establecidas para ambos productos con base en el contenido de proteínas, grasa y grados Brix, adicionalmente para la cajeta se han definido criterios para humedad y almidón. La misma norma NMX743 que arriba se cita, contempla límites microbianos de organismos coliformes totales (< 10 UFC/g o mL),

Staphylococcus aureus (<100 UFC/g o mL) y para aquellos que contienen chocolate, cocoa, coco y semillas determinación de *Salmonella spp* (ausente en 25 g).

En enero de 2020 la PROFECO publicó los resultados de un estudio realizado a 19 muestras de cajeta elaboradas con leche de cabra y leche de vaca que se comercializan en México. Entre las marcas evaluadas es notoria la variación en el contenido de nutrientes derivado del proceso de elaboración y de las materias primas usadas, por ejemplo, hay productos con poco calcio lo que lleva a suponer un menor contenido de leche. En la tabla 5.4 es posible evaluar las concentraciones obtenidas para los parámetros normalizados.

Tabla 5.4. Información fisicoquímica de cajeta de leche de cabra y cajeta de leche de vaca.

Determinación	Cajeta de leche de cabra	Cajeta de leche de vaca
Proteína (g/100g)	entre 2.9 y 7.5	3.5
Grasa(g/100g)	entre 4.2 y 13.1	4.2
Carbohidratos (g/100g)	entre 55.5 y 82.4	79.1
Azúcares (g/100g)	entre 30.5 y 47.3	35.2
Sodio (mg/100g)	entre 67 y 256	135
Calcio (mg/100g)	entre 81 y 326	122

Fuente: PROFECO, 2020.

En la tabla 5.5 se describen los ingredientes de una formulación para rendimientos del 40 al 45 %. A nivel industrial se adiciona glucosa para favorecer la formación de las redes cristalinas de la sacarosa, lo que permite controlar la cristalización en bajas cantidades y ayuda a mejorar el brillo y a aumentar la vida de anaquel del producto terminado, a nivel artesanal puede omitirse el uso de este ingrediente. Mediante esta fórmula el producto puede llegar a tener una vida útil de 3 a 6 meses a diferencia de la cajeta para uso industrial que puede durar hasta 10 a 12 meses a temperatura ambiente.

Tabla 5.5 Formulación típica para cajeta con base en leche de cabra*.

INGREDIENTES	%
Leche entera de cabra	75.5
Azúcar de caña	13.6
Glucosa (43°Baumé)	10.0
Bicarbonato de sodio	0.90
Antiespumante	

*Investigación propia

Tradicionalmente, este producto se elabora por concentración de la leche a través de evaporación por calentamiento prolongado y adición de azúcar y glucosa. Generalmente, la concentración se efectúa hasta alcanzar un porcentaje de sólidos totales entre 65% y 75%. El proceso de concentración puede realizarse a presión atmosférica, en recipientes abiertos hasta obtener un producto de agradable sabor característico, de consistencia muy viscosa y de color café claro hasta el pardo rojizo. Las etapas que intervienen en su elaboración son descritas en el diagrama de la figura 5.17.

La tecnología para la elaboración de cajeta está fundamentada en el manejo del azúcar, su principal ingrediente, lo que permite la obtención de la consistencias o texturas establecida por cada marca, lo cual se logra regulando el estado de cristalización del azúcar y de la humedad.

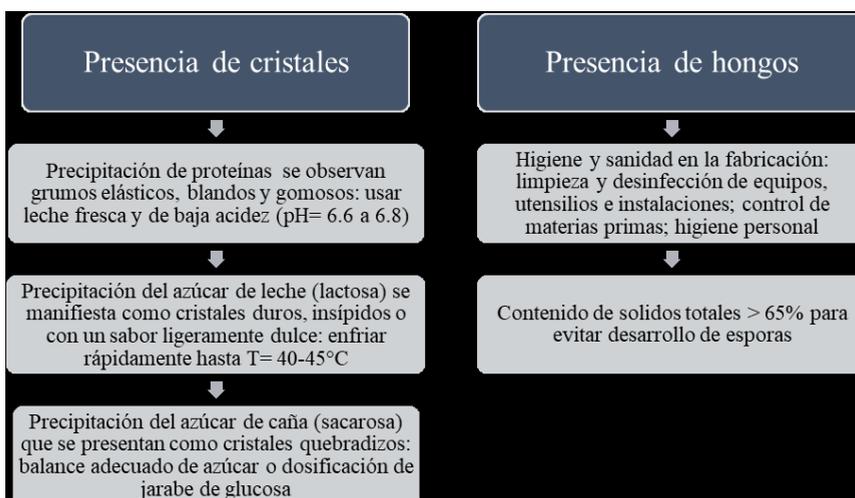
El control del proceso se puede realizar midiendo el tiempo de calentamiento o la cantidad de agua evaporada, o bien mediante la determinación del nivel de sólidos solubles mediante diferentes instrumentos: brixómetro (76-78°Bx) o refractómetro (medidor del índice de refracción), determinación de humedad con termobalanza o por determinación de propiedades como la viscosidad con un viscosímetro o reómetro, o bien por la determinación de la densidad con densímetros específicos. Existen algunas pruebas empíricas, por ejemplo, una de ellas consiste en dejar caer una gota de la cajeta/mezcla en un vaso con agua para ver si llega al fondo sin disolverse, si la gota llega íntegra al fondo indica que se debe retirar el calentamiento (Vélez Ruiz, 2018). Una vez que concluye el calentamiento se continúa agitando hasta llegar a 60°C para de esta forma dejar salir el vapor de la mezcla.

Figura 5.17. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de cajeta tradicional.



La calidad del producto puede verse afectada por la presencia de cristales que le imparten un gusto arenoso, así como la formación de grumos en la masa que son desagradables para el gusto y uso del consumidor. Otro problema común es la aparición de hongos sobre la superficie del producto. Algunas causas que pueden originar estas problemáticas son descritas en la figura 5.18, describiendo en el mismo sentido alternativas de control.

Figura 5.18. Problemas comunes en el proceso de elaboración de cajeta que afectan el sabor y apariencia.



5.6.2 Otros dulces de leche

En relación con los “dulces de leche” la norma oficial mexicana NOM-243-SSA1-2010 los define como los productos elaborados por tratamiento térmico de la leche y edulcorantes, pudiendo ser adicionados de aditivos e ingredientes opcionales (figura 5.19). Estos se elaboran en varios estados de la república y todos ellos tienen en común el uso de leche y azúcar. Se observan variaciones en las recetas para darle ese toque único distintivo, por ejemplo para hacer cambios en el sabor; se agrega nuez, piñón, coco y pasas así como algunos saborizantes con base en café y fresa.

Figura 5.19. Dulces típicos de México con base en leche y nuez.



DULCES DE LECHE MÁS REPRESENTATIVOS

Las “*Glorias*” de Nuevo León se destaca por elaborar estos dulces de cajeta quemada que se preparan con la receta tradicional en un cazo de cobre. La leche de cabra se cocina con azúcar, vainilla, miel de maíz, nuez pecana y un poco de bicarbonato de sodio. El secreto radica en la cocción lenta de la leche, la cual se tiene que caramelizar con el azúcar y con ello adquiere su textura suave y un tanto pastosa, luego se deja enfriar y se forman pequeñas bolitas que se envuelven en papel celofán rojo.

Los jamoncillos están hechos con dulce de leche, es decir, leche y azúcar. Se pueden encontrar en forma de barra, bloques o rombos, y generalmente son decorados con nueces enteras o picadas. Cuando el dulce está caliente se puede extender en una tabla para que se enfríe y se corta en

cuadritos, rectángulos o rombos. También se puede trabajar en una manga pastelera para formar el típico “churrito” o se coloca la pasta en moldes. En otros sitios lo preparan únicamente con leche o leche ahumada a la cual le añaden también vino, cajeta, nuez o piñones, entre otros complementos.

Los dulces de leche se comercializan regularmente sin empacar en tiendas y puestos o pueden estar cubiertos con película plástica o de celofán. Su vida útil es limitada, tienden a endurecerse o formar hongos cuando se acompañan de semillas como nueces. Para extender su vida útil y mantener la textura suave algunas compañías han empezado a adicionar otros ingredientes como azúcar, grenetina, vainilla, glucosa y coco tostado molido. Con la misma finalidad se puede formular a partir de leche, azúcar, vainilla, bicarbonato de sodio, yemas de huevo y almendras molidas, cocoa o pintura vegetal e incluir trocitos de fruta. En la figura 3 se observan algunos de estos productos.

CONSIDERACIONES FINALES ACERCA DE LA CAJETA Y DE LOS DULCES ELABORADOS CON BASE EN LECHE

México es conocido por su cultura gastronómica, y la cajeta contribuye a ese reconocimiento por su calidad, identidad y versatilidad al tener la oportunidad de consumirse sola o acompañada en una gran variedad de platillos. Su proceso continúa siendo tradicional y es el sustento principal de empresas familiares que han heredado sus conocimientos de generación en generación.

La cajeta es clasificada en la categoría de productos de confitería por su preparación y tiene un posicionamiento estable en el mercado nacional, al formar parte de las preferencias del consumidor mexicano, lo que ha permitido que las microempresas continúen existiendo, básicamente en las poblaciones donde se produce. Por lo que se refiere a las grandes empresas, la diversificación de productos que elaboran (por ejemplo: reducida en azúcar, untable) hace posible la fabricación de cajeta al no basar su margen de ganancia en un sólo producto. Al mismo tiempo la exportación abre la posibilidad de expandir la producción y llegar a otros mercados.

5.7 Conclusiones

Este recorrido por la presentación de algunos productos lácteos tradicionales del país nos permite percibir el impacto social, económico y cultural, que ofrece la presencia de cada uno de ellos en nuestros días. Además de conocerlos por sus propiedades, se percibe también su valor en la dieta del mexicano, ya que además de provenir de una de las más importantes fuentes alimentarias, la leche, se observa su riqueza nutrimental y funcional, ambas favorecidas por su composición química natural, la que de igual forma estimulan la presencia de microorganismos probióticos. Es pues, que este capítulo puede verse como una recomendación, extendida a las nuevas generaciones de profesionales de los alimentos, de artesanos (as) y emprendedores (as), a considerar la amplia riqueza cultural gastronómica, evidenciada por este tipo de productos tradicionales de cada rincón de México, y a prepararse para contribuir a que estos productos no desaparezcan, pues estos productos para sostenerse en el mercado globalizado o entrar en nuevos nichos especializados, seguramente requerirán de investigación científica y acompañamiento tecnológico, para no sucumbir ante la inmensa oferta de productos industriales, similares a los tradicionales, disponibles en cualquier punto de venta, envueltos con atractivos empaques y ostentando etiquetas que anuncian su calidad, o ante la tentación de optar por producir lácteos sintéticos o análogos.

5.7 Bibliografía

- Reglas de uso. Marca Colectiva Cotija Región de Origen, (2005).
- Arias, P. (2005). El mundo rural, diverso y cambiante. En E. Barragán (Ed.), *Gente de campo, Patrimonios y dinámicas rurales en México* (Primera ed, pp. 19–33).
- Barragán-López, E. (1998). El queso cotija se nos va de las manos. En Oikión Solano Verónica: *Manufacturas de Michoacán* (p. 250). Coedición con Gobierno del Estado de Michoacán e Instituto de Investigaciones Históricas.
- Barragán-López, E., Ortiz-Escamilla, J., & Toledo-Ocampo, A. (2007). *Patrimonios Cuenca del río Tepalcatepec*. Co edición Gobierno del Estado de Michoacán COLMICH.
- Bernard, N. R. P. B. Fr. L. N. R. J. C. (1994). *Quesos del mundo* (Noriega Editores (Ed.); Primera Ed). Editorial Limusa S.A. de C.V.
- Canale-Guerrero, A., Rojas-Bravo, D., & Reyna Villela, M. Z. (2009). Aprovechamiento de bioprocesos en la cultura prehispánica. Estudios de La Ciénega. *Tansdisciplinary Journal for Development*, Año 10(núm 19), 157–164.
- CANILEC. (2021). *Estadísticas del Sector Lácteo*. <https://www.canilec.org.mx/wp-content/uploads/2021/04/Compendio-del-Sector-Lacteo-2021.pdf>
- Cervantes-Escoto, F., Villegas-de-Gante, A., Cesín-Vargas, A., & Espinoza-Ortega, A. (2008). *Los quesos mexicanos genuinos: Patrimonio que debe rescatarse* (M. P. México, Universidad Autónoma de Chapingo, & U. A. del E. de México (Eds.); 1a. edición). Mundi prena México.
- Cervantes Escoto, F., Villegas de Gante, A., Cesín Vargas, A., & Espinoza Ortega, A. (2008). *Los quesos mexicanos genuinos: Patrimonio cultural que debe rescatarse*. (1a.). Mundi-Prensa México.
- Cesín-Vargas, A. (2014). *La leche y los quesos artesanales de México. Agricultura, Sociedad y Desarrollo*. Universidad Autónoma de Chapingo. CUESTAAM.CONACYT. Miguel Ángel Porrúa., 11(2), 243–248.
- Chombo-Morales, P. (2005). Experiencia de un encuentro inesperado: La apropiación de una propuesta tecnológica para la producción artesanal con certificación de origen y calidad del queso cotija. En E. Barragán-

- López (Ed.), *Gente de campo, Patrimonios y dinámicas rurales en México* (primera ed, p. 610). Colegio de Michoacán.
- Chombo-Morales, P. (2007). La denominación de origen. Acompañamiento tecnológico para la certificación y revaloración de productos artesanales. En A. Alvarez-Macías, F. Boucher, F. Cervanes-Escoto, & A. Espinoza-Ortega (Eds.), *Agroindustria Rural y Territorio* (Primera Ed, p. 247). UAEM.
- Chombo-Morales, P., Kirchmayr, M., Gschaedler, A., Lugo-Cervantes, E., & Villanueva-Rodríguez, S. (2016). Effects of controlling ripening conditions on the dynamics of the native microbial population of Mexican artisanal Cotija cheese assessed by PCR-DGGE. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 1153–1161. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.09.044>
- Claudia Manzano, A., Diana Estupiñán, G., & Elpidia Poveda, E. (2012). Clinical effects of probiotics: What does the evidence says. *Revista Chilena de Nutrición*, 39(1), 98–110. <https://doi.org/10.4067/S0717-75182012000100010>
- Norma Mexicana NMX-F- 735 Queso Cotija- cofocalec 2008 Sistema producto: Leche alimentos- lácteos- Parte 1: Queso Cotija Artesanal Madurado- Denominación, Especificaciones y Métodos de Prueba, (2008).
- Conway, P. L., Gorbach, S. L., & Goldin, B. R. (1987). Survival of Lactic Acid Bacteria in the Human Stomach and Adhesion to Intestinal Cells. *Journal of Dairy Science*, 70(1), 1–12. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(87\)79974-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(87)79974-3)
- Da Silva, M. S., Bigo, C., Barbier, O., & Rudkowska, I. (2017). Whey protein hydrolysate and branched-chain amino acids downregulate inflammation-related genes in vascular endothelial cells. *Nutrition Research*, 38, 43–51. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2017.01.005>
- Dullius, A., Goettert, M. I., & 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(December 2017), 58–74. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.12.063>
- Escobar-Zepeda, A., Sanchez-Flores, A., & Quirasco Baruch, M. (2016). Metagenomic analysis of a Mexican ripened cheese reveals a unique

- complex microbiota. *Food Microbiology*, 57, 116–127. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.02.004>
- FAO. (2011). Mission d'expertise à Cotija Bureau de Coopération Technique.
- FIRA. (2019). *Panorama Agroalimentario. Leche y Lácteos 2019*. <https://www.inforural.com.mx/wp-content/uploads/2019/06/Panorama-Agroalimentario-Leche-y-la769cteos-2019.pdf>
- Flores-Magallón, R., Oliva-Hernández, A. A., & Narváez-Zapata, A. A. (2011). Characterization of microbial traits involved with the elaboration of the Cotija cheese. *Food Science and Biotechnology*, 20(4), 997–1003. <https://doi.org/10.1007/s10068-011-0137-z>
- Flores Magallón, R., Luis Montañez Sot, J., Barrera Chaves, H., & Alberto Narváez Zapata, J. (2010). Aplicación de buenas prácticas de higiene para la leche cruda entera con la que se elabora el queso cotija. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 27(2), 89–93.
- Fox, P. F. & McSweeney, P. L. H. (2004). Cheese: an overview. In McSweeney, P. L. H., Cogan, T. M., Fox, P. F. and Giuinee, T. P., Editors. *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology* (pp. 1-18.). Academic Press.
- García-Baquero. (2020). *La historia del queso: Los orígenes de un alimento milenario*. Garcia Baquero Web.
- García-Cano, I., Serrano-Maldonado, C. E., Olvera-García, M., Delgado-Arciniega, E., Peña-Montes, C., Mendoza-Hernández, G., & Quirasco, M. (2014). Antibacterial activity produced by Enterococcus spp. isolated from an artisanal Mexican dairy product, Cotija cheese. *LWT Food Science and Technology*, 59(1), 26–34. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.04.059>
- González-Córdova, A. F., Yescas, C., Ortiz-Estrada, Á. M., De la Rosa-Alcaraz, M. de los Á., Hernández-Mendoza, A., & Vallejo-Cordoba, B. (2016). Invited review: Artisanal Mexican cheeses. *Journal of Dairy Science*, 99(5), 3250–3262. <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10103>
- Hammami, R., Fliss, I., & Corsetti, A. (2019). Editorial: Application of Protective Cultures and Bacteriocins for Food *Biopreservation*. *Frontiers in Microbiology*, 0(JULY), 1561. <https://doi.org/10.3389/FMICB.2019.01561>
- Jacques, N., & Casaregola, S. (2008). Safety assessment of dairy microorganisms: The hemiascomycetous yeast. *International Journal of Food Microbiology*, 126, 321–326. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2007.08.020>

- Jaime Castro Resendiz, L. (2011). *Los dulces regionales, tradición, costumbre e identidad mexiquense*.
- La jornada. (2006, November 14). Eligen al queso de Cotija, Michoacán, como el mejor del mundo ese año. *La Jornada*, 1. <https://www.jornada.com.mx/2006/11/14/index.php?section=estados&article=037n3est>
- Linck, T., & Barragan, E. (2009). *Une indication géographique pour détourne les patrimoines pastoraux ? Le cas du queso Cotija (Mexique)*. *Autrepart*, 50(2), 187. <https://doi.org/10.3917/autr.050.0187>
- Montel, M. C., Buchin, S., Mallet, A., Delbes-Paus, C., Vuitton, D. A., Desmasures, N., & Berthier, F. (2014). Traditional cheeses: Rich and diverse microbiota with associated benefits. *International Journal of Food Microbiology*, 177, 136–154. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.02.019>
- Mosquera, W. (2015). *Aprovechamiento del lactosuero y sus componentes como materia prima en la industria de alimentos Use of whey and its components as raw material in the food industry*. @Limentech, 13(1), 81–91.
- NMX-F-742-COFOCALEC-2012 SISTEMA PRODUCTO LECHE - ALIMENTOS - LÁCTEOS - QUESOS PANELA - DENOMINACIONES, ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA, (2012).
- NMX-F-743-COFOCALEC-2019. Sistema Producto Leche – Alimentos – Lácteos – Alimento regional – Cajeta y cajeta para repostería. (2019). COFOCALEC.
- NMX-F-755-COFOCALEC-2015 SISTEMA PRODUCTO LECHE - ALIMENTOS - LÁCTEOS - QUESO ADOBERA - DENOMINACIONES, ESPECIFICACIONES Y MÉTODOS DE PRUEBA, (2015).
- 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., 119 (2010). http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5160755&fecha=27/09/2010
- Sadrzadeh-Yeganeh, H., Elmadfa, I., Djazayeri, A., Jalali, M., Heshmat, R., & Chamary, M. (2010). The effects of probiotic and conventional yoghurt on lipid profile in women. *British Journal of Nutrition*, 103(12), 1778–1783. <https://doi.org/10.1017/S0007114509993801>

- Sahagún, F. B. (1938). *Historia General de las Cosas de la Nueva España*. Editorial Pedro Robredo.
- Scott, R. (1991). *Fabricación de queso* (Acribia (Ed.); 2a ed.). Elsevier Applied Science Publishers, Ltd.
- Secretaría de Economía. (2012). *Análisis del Sector Lácteo en México*. In Secretaria de Economia. http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/analisis_sector_lacteo.pdf
- Settanni, L., & Moschetti, G. (2010). Non-starter lactic acid bacteria used to improve cheese quality and provide health benefits. *Food Microbiology*, 27(6), 691–697. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.05.023>
- SIAP. (2019). *Boletín de Leche*. http://infosiap.siap.gob.mx/opt/boletlech/Boletin_leche_cuarto_trimestre_final_paginas.pdf
- SIAP, S. de información agroalimentaria y pesquera. (2018). *Boletín de exportaciones - Cajeta*.
- Taggedmx. (n.d.). *Quesos con denominación de origen*. Retrieved July 11, 2021, from <https://www.taggedmx.com/comida/quesos-condenominacion-de-origen/>
- Thouvenot, M., & Manríquez, J. (2014). Marc Thouvenot.
- Tunick, M. H., & Van Hekken, D. L. (2010). Rheology and texture of commercial queso fresco cheeses made from raw and pasteurized milk. *Journal of Food Quality*, 33(SUPPL. 1), 204–215. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2010.00331.x>
- Vélez Ruiz, J. F. (2018). *La cajeta, un dulce de leche de cabra. Leches Concentradas Azucaradas: De La Tradición a La Ciencia*, 93–116. <https://doi.org/10.35985/9789585522466.3>
- Zannie, M. (2020). Día del queso: La historia del queso. *El Universal*. <https://www.eluniversal.com.mx/menu/dia-del-queso-nacional-la-historia-del-queso>

Capítulo 6

Microorganismos lácticos. Origen y aporte a la inocuidad y a la calidad de los lácteos

Chombo-Morales, María P.^{1}*

Suárez-Jacobo, Ángela²

Campos-Newman, Jaime³

1.1 Introducción

La microbiología de la leche es un área muy interesante para estudiar. Uno pensaría que su impacto incide solamente desde el punto de vista sanitario de los lácteos, más no es así; el avance en los métodos moleculares y las ciencias genómicas confirman una estrecha relación entre nosotros y la vida microbiana, en términos de un equilibrio ambiental y la salud. La conservación y transformación de la leche en alimentos novedosos, nutritivos y funcionales va de la mano con su microbiología.

Para comprender cómo llegan los microorganismos a la leche, se requiere conocer primero la extensa diversidad de microorganismos que crecen en ella. A través de la evolución, una amplia variedad de microorganismos desarrolló su propio sistema enzimático para desdoblar, azúcares más complejos que la glucosa, como la lactosa de la leche (dímero formado por glucosa y galactosa), y a fraccionar las proteínas de la leche, en

¹ Tecnología Alimentaria. Sede Zapopan. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ). Av. Normalistas 800, Colinas de la Normal, C.P. 44270. Guadalajara, Jalisco, México. pchombo@ciatej.mx. * Corresponding author.

² Biotecnología Industrial. Sede Zapopan. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ). Av. Normalistas 800, Colinas de la Normal, C.P. 44270. Guadalajara, Jalisco, México. asuarez@ciatej.mx.

³ Departamento de Procesos Tecnológicos Industriales. Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente, ITESO. Anillo Periférico Sur Manuel Gómez Morín 8585, Santa María Tequepexpan, 45604 San Pedro Tlaquepaque, Jal. newman@iteso.mx.

oligopéptidos, péptidos y aminoácidos que les permitieran su subsistencia (Chambers, 2005; Robinson, 1987).

Actualmente, profundizar en su estudio es de interés mundial, debido no sólo por su aporte en el desarrollo de la calidad de los productos lácteos sino para destacar aportaciones a la salud, tema que se abordará más ampliamente en el capítulo 7.

Tomando en cuenta lo anterior, en este capítulo se profundiza en las tecnologías convencionales que permiten el control de los microorganismos asociados a riesgos sanitarios de origen lácteo, se da énfasis a los procesos y condiciones que neutralizan el desarrollo o desactivan a los microorganismos que deterioran el alimento, o que, en el peor de los casos pueden causar enfermedades mortales por su capacidad infecciosa o su toxicidad. En la segunda sección se presenta la producción industrial de cepas específicas, que se han identificado a través de los años como responsables de las propiedades fisicoquímicas, sensoriales y biológicas de muchos productos lácteos autóctonos o tradicionales en todo el mundo, de donde se han aislado, como los quesos y la leches fermentadas; se presenta *grosso modo* la industrialización y comercialización de esas cepas de interés para la industria láctea, y que gracias al avance de la biotecnología, desde el siglo pasado, esta industria láctea se ha beneficiado de su disponibilidad en el mercado. Más adelante, se presentará una sección que aborda la actividad de algunos microorganismos que contribuyen a la formación de compuestos asociados a la calidad y tipicidad de ciertos productos lácteos, como lo son la generación de aromas, texturas y colores. Como se podrá observar el objetivo del presente capítulo es resaltar la actividad de los microorganismos lácticos como agentes importantes en la calidad y en la inocuidad de los derivados de la leche.

6.2 Origen de los microorganismos lácticos

La leche es uno de los productos más estudiados, desde hace muchos años se han identificado muchas especies de microorganismos que pueden crecer en el ambiente lechero, en las salas de ordeño, los forrajes y ensilados, en la propia leche bronca, en los utensilios, equipo y ambientes de las plantas industrializadoras o talleres artesanales de lácteos, y por supuesto en la leche y sus derivados ya procesados (Montel *et al.*, 2014). La procedencia y diversidad de microorganismos que se desarrollan en los lácteos tiene la lógica de la exposición a la ubre de los animales lecheros, dada su anatomía, el contacto de diversos ambientes naturales y estabulados. La posición de este órgano facilita la alimentación de la cría, sin embargo, desde el enfoque tecnológico y en términos económicos y sanitarios, esta situación tiene una repercusión muy importante, misma que requiere evaluación y control (Fuentes-Coto *et al.*, 2013).

Dentro de las familias microbianas asociadas a los ambientes lecheros y los lácteos, las bacterias están ampliamente representadas por Firmicutes, además de Protobacteria, Actinobacteria y Cianobacteria; mientras que algunas especies de Ascomycetes, Zygomycetes y Basidiomycetes; increíblemente también protozoarios y virus sobreviven en los lácteos (Bourdichon *et al.*, 2012).

En la tabla 6.1 se presenta una clasificación básica de los microorganismos asociados a los lácteos, desde el punto de vista taxonómico propuesto por el microbiólogo inglés J. K. Robinson (1987). Los estudios modernos de la microbiología de la leche han identificado más de 100 géneros y más de 400 especies de bacterias, tanto Gram negativas como Gram positivas. Incluyen más de 70 especies de hongos y más de 40 especies de levaduras. Las enterobacterias, como *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Yersinia*, las micobacterias como *Mycobacterium bovis*, *M. tuberculosis* y los bacilos como *Bacillus cereus*, *Clostridium butyricum* y *C. tirobutyricum*, son de las bacterias más vigiladas por el daño que causan a la salud (Robinson, 1987; Verraes *et al.*, 2015) (Robinson, 1987; Verraes *et al.*, 2015).

Tabla 6.1. Familias, géneros y especies de microorganismos asociados a los lácteos. Adaptado de Chambers y Robinson (Chambers, 2005; Robinson, 1987).

BACTERIAS Familia	Género y especie	MOHOS Género y especie
Enterobactereaceae	<i>Escherichia coli</i> <i>Salmonella</i> <i>Enterobacter</i> <i>Yersinia</i>	<i>Geotrichum candidum</i> <i>Scopulariopsis brevicaulis</i> <i>Sporododema sebi</i> <i>Penicillium roquefortii</i> <i>Penicillium casei</i> <i>Penicillium camemberti</i> <i>Penicillium caseicola</i>
Streptococcaceae	<i>St bovis</i> <i>St. agalactea</i> <i>St thermophilus</i> <i>St lactis</i> <i>Leuconostoc mesenteroides</i> <i>Leuconostoc cremoris</i>	LEVADURAS Género y especie <i>Debaryomyces hansenii</i> <i>Kluyveromyces fragilis</i> <i>Kluyveromyces lactis</i> <i>Saccharomyces cerevisiae</i> <i>Candida lypolytica</i> var. <i>lypolytica</i> <i>Candida Kefir</i> <i>Turolopsis lactis</i>
Bacillacea	<i>B. cereus</i> <i>Clostridium butyricum</i> <i>Clostridium tirobutyricum</i>	VIRUS Género y enfermedad asociada
Lactobacillaceae	Género <i>Lactobacillus</i> <i>Lb. lacti</i> <i>Lb. bulgaricus</i> <i>Lb. helveticus</i> <i>Lb. plantarum</i> <i>Lb. acidophilus</i> <i>Lb. casei</i> <i>Lb. Paracasei</i> <i>Lb. Brevis</i> <i>Lb. Curvatus,</i> Género <i>Listeria</i> <i>Listeria monocytogenes</i> Gpo. <i>Corineformes</i> : Género <i>Corinebacterium</i> <i>C. pyogene</i> <i>C. bovis</i> Género <i>Arthrobacter</i> Género <i>Microbacterium</i> (termodúricos)	Viruela de la vaca Poliomelitis. Género <i>Enterovirus</i> Virus de la “fiebre Centroeuropa” transmitido por garrapata Género <i>Flavovirus</i> Virus de la Hepatitis Bacteriofagos de las BAL
Propionibacteria		OTROS
Pseudomonasaceae		<i>Campilobacter</i>
Neiseiraceae		<i>spp; actinomyces bovis;</i>
Micrococcaceae		<i>Neocardia Rubropertincta;</i>
Mycobacteriaceae	(<i>Mb. bovis</i> ; <i>Mb. tuberculosis</i>)	<i>Coxiella burnetii;</i>

Por otra parte, uno de los grupos más estudiados por su impacto económico para la industria láctea son las bacterias ácido-lácticas (BAL), de las que se han identificado más de 90 géneros y especies. Destacan por su aplicación en el desarrollo de productos algunas especies del género *Lactobacillus* (*L. lactis*; *L. bulgaricus*; *L. helveticus*; *L. plantarum*; *L. acidophilus*; *L. casei*; *L. paracasei*; *L. brevis*, *L. Curvatus*, otros.) y del género *Streptococcus* como *S. thermophilus* *S. lactis*; *Leuconostoc mesenteroides* y *L. cremoris*, entre otros (Elmer H. Marth, 1998).

6.3 Tecnologías convencionales para el control de la inocuidad de los lácteos

La leche, por su propia naturaleza, es un alimento altamente perecedero, por lo que uno de sus problemas más difíciles de su abastecimiento, es que llegue en condiciones adecuadas de frescura y agradable sabor.

La leche se recolecta de un animal lactante, lo que puede ocurrir dos veces al día. Si se desea que retenga durante algún tiempo su sabor agradable al paladar y su calidad, es necesario conservarla bien después de su recolección, pues se considera un alimento de fácil descomposición debido a la contaminación microbiana.

Esta contaminación puede originarse en las prácticas de manejo y transporte de la leche que va desde ordeñar las vacas a mano en el campo, hasta el ordeño por sistemas automatizados en instalaciones equipadas. Así mismo, se debe tener cuidado con la ubre, pues cuando las membranas que las sostienen se estiran o se rompen, éstas quedan expuestas a lesiones y posteriores enfermedades infecciosas.

El sistema de recolección, todavía en algunas regiones de México, es manual y se transporta por los pequeños productores para hacerlas llegar a los centros de recolección o directamente entregando a los hogares. Por otro lado, también existe la entrega y transporte en pipas refrigeradas hasta la planta de procesamiento, donde la producción lechera es más avanzada tecnológicamente. No obstante, existen tres fuentes básicas de contaminación microbiana de la leche: (1) desde el interior de la ubre (2) desde el exterior de los pezones y la ubre, y (3) desde el equipo de manipulación y almacenamiento de la leche (Chambers, 2005).

En este sentido, la calidad microbiológica inicial de la leche puede

variar enormemente, puesto que depende de extraerla de un animal sano, personal aseado, utensilios y maquinaria limpios y esterilizados, una conservación y almacenamiento a condiciones adecuadas. En caso contrario, la leche que no cumple con estos estándares de calidad no puede consumirse, ni ser vendida, ni utilizarse como alimento para los becerros.

6.3.1 *Microorganismos en la leche*

La leche es una fuente importante de nutrientes como proteínas, carbohidratos, lípidos, vitaminas y minerales. Este alimento, tan nutritivo, hace que además de funcionar como alimento para los humanos también es un medio favorable para el crecimiento de microorganismos tanto benéficos como perjudiciales o patógenos. Estos microorganismos, crecen y se multiplican con mayor rapidez a una temperatura superior a los 25°C, sin embargo, a temperaturas bajas disminuye su desarrollo y multiplicación.

Si la leche no es ordeñada adecuadamente, almacenada en condiciones de refrigeración y procesada adecuadamente con calor o manteniendo medidas adecuadas de manipulación e higiene en el proceso, los patógenos transmitidos por la leche pueden causar alertas alimentarias. Cuando se refrigera la leche, desciende la actividad del agua, el agua se hace menos disponible para la cinética de las reacciones de deterioro, la motilidad molecular disminuye haciéndose menos probables las reacciones químicas y bioquímicas, disminuyendo así mismo el agua disponible para el mantenimiento de microorganismos causantes de deterioro (Zavala, 2005).

Algunos de los microorganismos patógenos encontrados en la leche cruda son *Salmonella spp.*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Mycobacterium tuberculosis* o *Staphylococcus aureus*, *Streptococcus spp.*, *Yersinia spp.* y *Coxiella Burnetii*. Estos microorganismos han sido asociados con la leche o los productos lácteos en los países industrializados y son los principales peligros microbiológicos relacionados con la leche cruda y queso crudo (Claeys *et al.*, 2013; Verraes *et al.*, 2015; Yang *et al.*, 2012). En este sentido, Cancino-Padilla *et al.* (2017) presenta un resumen de brotes asociados al consumo de diferentes productos lácteos en el mundo.

Algunas enfermedades y complicaciones que se han reportado incluyen: infección invasiva, gastroenteritis hemática, brucelosis, fiebre mediterránea, gastroenteritis, difteria, síndrome urémico hemolítico, listeriosis, tuberculosis, enfermedad de Crohn e infección invasiva. En

América Latina, se han reportado brotes de enfermedades transmitidas por alimentos (ETA) asociados al consumo de productos elaborados con leche cruda (Castellanos *et al.*, 2019). En la Ciudad de México, *Yersinia enterocolitica* fue encontrada y aislada en la leche cruda de vaca (Bernardino-Varo *et al.*, 2013).

Es importante mencionar que, se han encontrado algunos microorganismos patógenos que sobreviven y se multiplican en condiciones de refrigeración, también conocidos como psicrótrofos, tal es el caso de *Listeria monocytogenes*. Por lo que, es importante considerar que este tipo de patógenos se pueden transmitir y derivar en problemas de salud si no se presta la atención adecuada a la cadena de suministro de la leche o bien debido al consumo de leche fresca (Centers for Disease Control and Prevention, 2017; Photis & Maria, 2014). Hay varias formas de clasificar los grupos microbianos asociados a los lácteos y su procesamiento, como es su resistencia a las temperaturas altas o bajas, a las presiones, a las concentraciones de sal, entre otras.

Otro tipo de microorganismos presentes son las bacterias ácido lácticas (BAL) que transforman la lactosa en ácido láctico, generando un sabor diferente en el producto. Por tanto, no producen cambios visibles en la composición, sin embargo, llegan a afectar al sabor o su aspecto. Algunos de ellos encontramos *Lactococcus sp.*, *Lactobacillus sp.*, *Streptococcus sp.*, *Propionibacterium sp.*, *Bifidobacterium sp.*, *Enterococcus sp.* y *Leuconostoc sp.*

Existen otros microorganismos en la leche, especialmente bacterias que producen putrefacción, olor y sabor desagradables o incluso compuestos tóxicos, tales como *Pseudomonas sp.*, *Clostridium sp.* y *Bacillus sp.*

6.3.2. Conservación tradicional de la leche

En casa, la forma más común de conservar la leche, tanto de los microorganismos deterioradores como de los patógenos, y evitar su deterioro, es colocarla en un recipiente y hervirla directamente al fuego durante varios minutos. Durante la cocción, la leche se debe mantener en constante agitación hasta alcanzar el punto de ebullición y posteriormente, se debe mantener así, de 2 a 5 min, aproximadamente. En la medida de lo posible, se sugiere realizar un choque térmico, utilizando agua fría. También, la técnica del baño maría es utilizada, aquí la leche es colocada en

un recipiente (de preferencia de vidrio), se mantiene a fuego lento, gracias al baño maría, se puede tener una temperatura más controlada; de igual forma se puede realizar un choque térmico, cambiando inmediatamente el recipiente con la leche a otro con agua fría, lo que nos asegura que no haya una contaminación posterior.

6.3.3. Tratamientos térmicos para estabilizar la calidad microbiológica de la leche

A nivel industrial, se conocen varios tratamientos térmicos utilizados en función de diferentes combinaciones de tiempo/temperatura permitiendo alcanzar diferentes grados de estabilidad microbiológica. De ahí que se conozcan los términos de “termización”, “pasteurización” y “esterilización” que se aplican para la conservación de productos lácteos, dependiendo de la relación de las condiciones de tiempo/temperatura.

La termización, es un proceso de calentamiento suave destinado a reducir los contaminantes microbianos previo a un segundo proceso, así como detener la multiplicación de los microorganismos psicrótrofos, como en el caso de la elaboración de quesos (Gösta Bylund, 1995). En este tratamiento, la leche depositada en un tanque se calienta a una temperatura mínima de 63-65 °C durante 15 segundos, cuidando que no quede ningún punto frío en el seno del líquido para posteriormente enfriarla a 4 °C (ver tabla 6.2).

El tratamiento térmico comercial de conservación de la leche, donde no se llega a la ebullición, para destruir las bacterias que causan enfermedades se conoce con el nombre de pasteurización, y se ha extendido en muchos países como medida de salubridad pública desde hace muchos años (Hodgson & Reed, 1944). Las infecciones transmitidas por la leche eran relativamente comunes antes del advenimiento de la pasteurización a fines del siglo XIX e incluso hoy en día, las enfermedades relacionadas con el consumo de productos lácteos no pasteurizados y también pasteurizados siguen siendo un problema de salud pública (Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria, 2018).

Tabla 6.2. Temperaturas y tiempos para tratamientos térmicos utilizados para preservar leche cruda. Adaptado de Gösta Bylund (Gösta Bylund, 1995).

Proceso	Temperatura	Tiempo	Carga microbiana Post-proceso (UFC/mL ¹)	Vida de anaquel
Cruda-Sin tratamiento	-	-	Variable	72 horas a 4 °C, depende del conteo inicial.
Tratamiento casero	Ebullición 100 °C	> 10 minutos	-	72 horas aproximadamente en refrigeración 8-10 °C
Termización	63-65 °C	15 s	-	Procesamiento inmediato a otros subproductos, mantenimiento en refrigeración.
Pasteurización LTLT *	63 °C	30 min	< 30 000	8 – 10 días, 8-10°C
Pasteurización HTST *	72-75 °C	15-20 s	< 30 000	8 – 10 días, 5 – 7°C, envase cerrado
UHT *	135-140 °C	Pocos segundos	< 10	12 meses o más
Esterilización en el envase	115-120 °C	20-30 min		>12 meses

(*) indicados en la NOM-243-SSA1-2010. UFC: Unidades formadoras de colonias

La pasteurización, es el tratamiento térmico, donde la leche y/o subproductos a se somete a un proceso destinado a la estabilización microbiológica a corto plazo. Por definición del CODEX Alimentarius (FAO, 2000), es el tratamiento térmico destinado a reducir el número de microorganismos nocivos presentes en la leche y la nata (crema) a un nivel en que no constituyan un riesgo notable para la salud. El tratamiento deberá ser tal que permita prolongar la duración en almacén de la leche y determine los mínimos cambios químicos, físicos y organolépticos posibles. Las condiciones de pasteurización están concebidas para destruir efectivamente el organismo *Mycobacterium tuberculosis*.

A nivel comercial existen dos tipos de pasteurización: la de baja temperatura y largo tiempo (63 °C, 30 min) LTLT (*Low temperature long time*, por su acrónimo en inglés) y la de alta temperatura tiempo corto (72-75 °C, 15-20 s) HTST (*High temperature short time*, por su acrónimo en

inglés) (Gösta Bylund, 1995). Después de la pasteurización LTLT o HTST, la leche y/o subproducto se enfría inmediatamente a una temperatura de entre 8 a 10 °C. La pasteurización es suficiente para reducir a las bacterias deteriorativas, como los coliformes, sin embargo, no destruye todas las bacterias de la leche. Por lo que su efectividad, dependerá del número inicial de microorganismos, de su composición (grasa y azúcar) y la presencia de microorganismos termorresistentes o termodúricos, tales como: *Microbacterium*, *Micrococcus*, *Bacillus spores*, *Clostridium spores*, *Streptococcus*, *Coryneform*, *Enterococcus* y *Lactobacillus*.

La leche pasteurizada se puede etiquetar como “fresca” si el tratamiento térmico se realiza dentro de las 48 h siguientes al ordeño y tiene una vida útil de 6 días en condiciones de refrigeración (Poltronieri & Rossi, 2017). Para almacenarla, se puede utilizar envases o botellas de vidrio, aunque actualmente se utilizan bolsas y botellas plásticas.

Es posible anular el crecimiento de los microorganismos, utilizando el tratamiento de esterilización en envases o bien en la esterilización más sofisticada que se da en el proceso de temperatura ultra elevada o UHT (por su acrónimo en inglés, *ultra high temperature*) y llenado aséptico.

La esterilización de la leche es un tratamiento térmico continuo de la leche cruda al menos a 135 ° C durante no menos de un segundo para matar microorganismos y esporas bacterianas (Fernandes, 2009). La leche esterilizada se envasa en recipientes estériles opacos para minimizar las variaciones fisicoquímicas y organolépticas. De esta forma es posible mantenerla a temperatura ambiente y no necesita refrigeración hasta que se el recipiente que la contiene se abre (Poltronieri & Rossi, 2017).

Por otro lado, el tratamiento UHT, es un proceso en continuo para conservar productos lácteos líquidos exponiéndolos a un calentamiento breve e intenso, normalmente a temperaturas en el rango de 135-140 °C por pocos segundos, pasa por etapas de calentamiento y enfriamiento rápidos seguido de un envasado aséptico (Deeth & Datta, 2011). Se trata de un sistema cerrado que evita que el producto sea contaminado por microorganismos en el aire. Por tanto, la leche y el empaque son esterilizados por separado y en un ambiente estéril, entonces se procede al llenado y sellado de los envases. En la esterilización se emplea aire filtrado, peróxido de hidrógeno para esterilizar los empaques, así como vapor y agua caliente para esterilizar la leche (Zavala, 2005), lo que le provee una vida de anaquel de al menos

12 meses sin refrigeración hasta el momento que se abre por lo que es estable al almacenamiento. Dicho tratamiento térmico tiene el mismo efecto bactericida que la esterilización en el recipiente a una temperatura más baja durante más tiempo, pero provoca menos cambios químicos y, por lo tanto, produce un producto de mejor calidad (Deeth & Datta, 2011).

Las tecnologías para el tratamiento UHT son dos: calentamiento y refrigeración indirecta por medio de intercambiadores de calor, y el calentamiento directo mediante inyección de vapor o infusión de leche en vapor y enfriamiento por expansión al vacío (Gösta Bylund, 1995; H. Singh & Bennett, 2005). Cada método presenta ventajas y desventajas, por lo que dependiendo de la calidad de producto que se requiera o bien de la efectividad y eficiencia del tratamiento, es posible elegir uno u otro o definir un proceso combinado.

Los métodos más comunes de calentamiento UHT utilizan vapor o agua sobrecalentada como medio de calentamiento, aunque se pueden usar otros métodos de calentamiento eléctrico menos comunes (Deeth & Datta, 2011). En el primer caso, en el tratamiento indirecto, se involucran intercambiadores de calor tubulares o de placas que calientan la leche más lentamente y, por lo tanto, provocan más cambios químicos con el mismo efecto bactericida que los métodos directos. El enfriamiento posterior se logra mediante el intercambio de calor con la leche cruda que ingresa al proceso de esterilización.

En los métodos directos, se realiza la adición directa de vapor saturado al producto, que calienta la leche muy rápidamente y alcanzan las altas temperaturas requeridas con un mínimo cambio químico en la leche. La leche precalentada se introduce a una presión relativamente alta de aproximadamente 5 bar en el inyector, donde entra en contacto con vapor saturado a 150 °C. Este último se condensa y transmite calor a la leche, que puede alcanzar una temperatura de 145 °C durante unos 3 segundos. La evaporación resta calor a la leche, que por lo tanto se enfría rápidamente a 80 °C (Poltronieri & Rossi, 2017).

Otra forma original de esterilización, que todavía se utiliza, es la esterilización en contenedores de forma continua o por lotes, generalmente a 115 - 120 ° C durante unos 20 - 30 minutos (Gösta Bylund, 1995). Por esterilización de la leche o la nata (crema) se entiende un tratamiento térmico de elevada temperatura/breve tiempo destinado a elaborar un producto

comercialmente estéril que pueda almacenarse a temperatura ambiente. El procedimiento tiene por objeto destruir todos los microorganismos; es improbable que los microorganismos residuales causen el deterioro del producto en condiciones normales de almacenamiento (FAO, 2000).

Brevemente, el proceso consiste en que después de la estandarización de la grasa, de la homogeneización y el calentamiento a aproximadamente 80 °C, la leche se envasa en recipientes limpios, generalmente botellas de vidrio o plástico y latas para la leche evaporada. El producto, aún caliente, se transfiere a autoclaves en producción discontinua o en una torre hidrostática en producción continua (Gösta Bylund, 1995).

6.4 Microflora natural y cultivos lácticos comerciales y su aplicación

Los cultivos lácticos o bacterias ácido lácticas (BAL) son microorganismos con una actividad metabólica conocida, que se producen a nivel industrial para generar o elaborar productos lácteos cultivados, esto a través de un proceso de fermentación, donde su función principal o inicial es la de formar ácido láctico a partir de la lactosa (azúcar de la leche) (Prajapati *et al.*, n.d.), además producen compuestos de sabor, aroma, textura, así como otros metabolitos como enzimas proteolíticas y lipolíticas que tendrán una influencia directa en el producto lácteo terminado para el que fueron utilizados.

Los microorganismos lácticos están ampliamente distribuidos en diferentes ecosistemas, de ahí se aíslan, se estudian, se caracterizan y las cepas de importancia económica se producen a gran escala para su comercialización y uso en la producción de alimentos fermentados como bebidas alcohólicas (cerveza, vino), panificación, fermentación de vegetales (aceitunas, uvas y cereales), inclusive ensilados; también en fermentaciones cárnicas (salchichas, salami), y en los productos lácteos (quesos, mantequilla, yogurt), entre otros. Las BAL no solamente se utilizan por su habilidad por acidificar; la actividad metabólica de las cepas seleccionadas permite la conservación de los alimentos y les proporciona propiedades sensoriales como textura, sabor, aroma, olor además de nutricionales (Hugenholtz, 2008).

6.4.1 *Historia*

Se ha estimado que existen más de 3500 alimentos y bebidas que en la antigüedad eran fermentados, como la leche que se fermentaba de manera espontánea al dejarla a temperatura ambiente, aunque sin comprender la base científica que explicase su acción o por qué se podían conservar por más tiempo, o qué permitía la producción de texturas y sabores característicos, distintos de los del producto original que no se fermentaba. Los productos se obtenían, partiendo de pequeñas cantidades del producto ya fermentado, que se añadía a un nuevo lote para elaborar más. En ensayos a prueba y error se acumuló la experiencia de los antiguos procesadores, lo que les permitió reproducir los procesos con cierta confianza para obtener los sabores, aromas y texturas adecuados de cada tipo de producto. En la actualidad se ha extendido el buen uso de estos aliados microbianos utilizando cultivos iniciadores comerciales en la elaboración de una amplia gama de productos lácteos fermentados, ya sean líquidos, como el kéfir y cumis, o densos y semisólidos, como el queso o el yogurt (Weill, 2017).

Roberto Koch estableció las técnicas de cultivo microbiano puro, lo cual mejoró los rendimientos para productos fermentados; esto también permitió el desarrollo de vacunas y antibióticos. A finales del siglo XIX se fundaron empresas especializadas para producir cultivos lácticos; al inicio éstos eran indefinidos, se desconocía la mezcla de bacterias que estaban presentes. Posteriormente fueron analizados; su composición o mezcla de cepas fue identificada y a partir de propiedades específicas se fueron seleccionando. Con esto, desde hace 200 años la producción de queso y mantequilla se industrializó, los productos tradicionales se estandarizaron y se empezó a utilizar el cultivo láctico de manera amplia en las plantas de fabricación. Cuando se aplicaron tratamientos térmicos a la leche o pasteurización como control sanitario, mejoró la vida en anaquel de los productos fermentados, requiriendo en paralelo el uso de estos cultivos lácticos para lograr la calidad deseada (Rodarte, 2014).

6.4.2 *Producción industrial de cultivos lácticos*

Debido a que la microflora natural en la leche es ineficiente, incontrolable, impredecible y es destruida en el proceso de pasteurización, es necesario reincorporar los agentes microbianos, a través de un cultivo láctico seleccionado, para generar características particulares como aroma, textura,

cuerpo, apariencia, etcétera, en los derivados lácteos. Se busca en la selección de las cepas, además de propiciar la conservación de los alimentos por fermentaciones alcohólicas o acéticas y alcalinas, el bio-enriquecimiento de alimentos con proteínas, aminoácidos esenciales, ácidos grasos y vitaminas, la desintoxicación del sistema digestivo, así como los beneficios nutricionales y fisiológicos como la intolerancia a la lactosa.

La producción industrial de los cultivos parte de la multiplicación de una cepa específica; la biomasa se separa del medio de crecimiento y después se congela o se liofiliza. Las ventajas que presenta la liofilización son innumerables, la principal es el evitar el secado por calentamiento a alta temperatura, además que la ausencia de agua no permitirá el crecimiento de contaminantes; cualquier otro método de concentración y conservación de los cultivos reduce el porcentaje de viabilidad de los microorganismos (Arencibia *et al.*, 2008).

Un riguroso control de calidad antes de salir al mercado, pruebas de valoración, microbiología y seguimiento de pH, pruebas ante la presencia de bacteriófagos, entre otras, permite que, en los procesos industriales, los productos mantengan sus características constantes en el tiempo, la fermentación sea controlable y los resultados finales sean predecibles, como el sabor, aroma y la producción de enzimas con base en la adecuada selección de estos cultivos.

Los cultivos lácticos se comercializan como cepas puras o mezclas; en presentación líquida se encuentran en una concentración de 10^8 UFC/mL; un cultivo congelado, tendrá 10^{10} – 10^{11} UFC/mL y un cultivo liofilizado tendrá al final 10^{11} – 10^{12} UFC/g, siendo la presentación más concentrada del cultivo. El uso de un cultivo liofilizado es práctico (se puede realizar la inoculación de forma directa al tanque o tina de producción o con una dilución previa) y requiere de un almacenamiento mínimo, en comparación con cualquiera de las otras versiones comentadas (Bourdichon *et al.*, 2012).

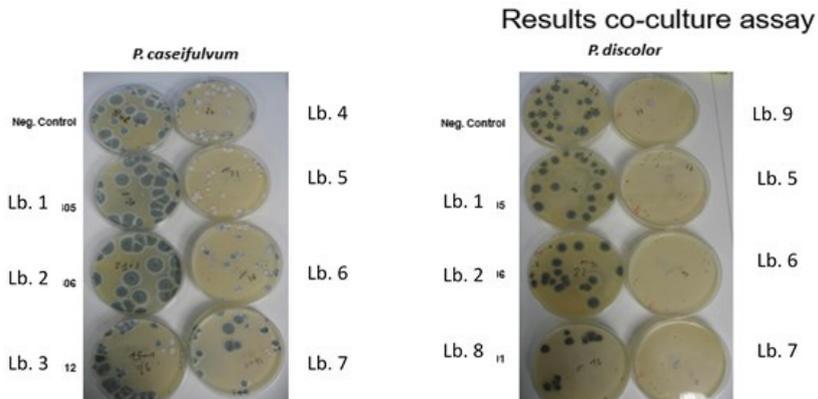
6.4.3 Clasificación y tipos de cultivos lácticos

Los cultivos lácticos se clasifican de manera general como cultivos lácticos, cultivos iniciadores o BAL, otros cultivos que no son BAL se conocen como cultivos no lácticos o NSLAB (Non Starter Lactic Acid Bacteria, por su acrónimo en inglés) y cultivos con actividad bioprotectora, también llamados cultivos protectores (Elmer H. Marth, 1998).

Los géneros de los microorganismos más utilizados en la industria de la leche son: *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Pediococcus*, *Bifidobacteria*, *Brevibacterium*, *Acetobacter*, *Propionibacterium*, *Candida kéfir*, *Kluyveromyces*, *Torulospora*, *Caccharomyces*, *Penicillium*, *Aspergillus* y *Geotricum*. Por su morfología visible al microscopio, pueden ser bastones, cocos, bacterias, levaduras y mohos. Con relación con la temperatura óptima de crecimiento, se clasifican como mesófilos ya que crecen entre 20 y 40°C, ejemplo: *Lactococcus*: *Lc. lactis*, *Lc. cremoris*, *Lc. diacetylactis*, *Leuconostoc mesenteroides*; como *Lactobacillus*: *Lb. casei*, *Lb. plantarum*, *Lb. rhamnosus*, *Lb. brevis*, etcétera. Como termófilos, los cuales crecen entre 30 – 50°C. Como ejemplo: *Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus bulgaricus* (que son las cepas comúnmente utilizadas para el yogurt), y otras también termófilas como *Lb. helveticus*, *Lb. lactis*, *Enterococcus faecium* (cepa no patógena) (Prajapati *et al.*, n.d.). Además, se comercializan cultivos de superficie: moho azul *Penicillium roqueforti*, mohos blancos *Penicillium camemberti* y *P. candidum*, además de otros cultivos como *Propionibacterium*, *Brevibacterium linens*, *Penicillium* y *Geotricum*, entre otros. Un catálogo completo de cepas utilizadas comercialmente a nivel internacional se puede encontrar en el resumen publicado por Bourdichon *et al.*, (2012).

Estudios realizados en una leche donde se aplicaron cultivos protectores y en una leche sin ellos, como testigo o control, se observó el efecto antagónico que tienen estas bacterias sobre ciertos contaminantes presentes en los derivados lácteos como los mohos o levaduras (figura 6.1).

Figura 6.1. Diferentes cepas presentan diferente capacidad de controlar la flora de contaminación (en este ejemplo, evaluación de varios lactobacilos (Lb.) vs. mohos *Penicillium caseifulvum* y *Penicillium discolor*)
Cortesía SACCO System.



MICROORGANISMOS PROBIÓTICOS

Los cultivos probióticos son microorganismos que se han identificado por sus propiedades biofuncionales, que favorecen ciertas condiciones de salud y de protección contra algunas enfermedades, como cáncer, hipertensión, diabetes, etcétera. Regularmente, estas bacterias son aisladas de la vaca, de la leche, del ambiente lechero y de productos lácteos elaborados con leche sin pasteurizar, lo cierto es que varias cepas comerciales se han aislado del intestino de individuos sanos. Dentro de ellos, están los géneros *Lactobacillus*, *Lactococcus*, *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus bulgaricus*, etcétera, son de los más utilizados como bacterias probióticas.

ACTORES COMERCIALES

Dentro de las principales marcas en el mercado para adquirir cultivos lácteos se encuentran: Chr. Hansen (Dinamarca), DuPont (USA), SACCO (Italia) (Markandmarkets, 2021). La mayoría de estas empresas están ubicadas en Europa, reflejo del costo que tiene este tipo de tecnología. Por el momento, en México no es posible fabricarlos a escala industrial. Estas empresas también comercializan probióticos, siendo estos microorganismos por sus características, extraídos primeramente del lugar de origen: tracto intestinal para su posterior industrialización.

VENTAJAS DEL USO DE CULTIVOS LÁCTICOS COMERCIALES

Entre los beneficios se encuentran: a) asegurar el predominio de las especies de interés, b) permitir la selección de cepas específicas para el desarrollo de propiedades funcionales, c) permitir el control de calidad de los productos, d) inducir el enriquecimiento de la dieta humana a través de sabores, aromas y texturas, e) acidificar el medio, bajar el pH, f) inhibir el desarrollo de microorganismos contaminantes, g) producir enzimas proteolíticas y lipolíticas durante la maduración de algunos productos, h) producir sustancias asociadas al aroma, sabor, textura, etcétera, como el diacetilo, acetaldehído, entre otros, i) generar gas, propiedad indispensable para los quesos cuya característica esencial es la presencia de ojos en su pasta o interior, j) producir antibióticos y otros compuestos antimicrobianos o antifúngicos (Parente *et al.*, 2017).

Finalmente, el uso de cultivos en la industria láctea es evidentemente importante. La tendencia actual refuerza su empleo: los productos

fermentados de leche continúan su crecimiento en el mundo y en nuestro país, su mercado representa casi seis veces al sector lácteo con relación con la leche de consumo directo.

6.5 Actividad microbiana en la calidad de los lácteos

6.5.1 Procedencia de la microbiota natural y la asociada al ambiente lechero

La leche es un sistema fisicoquímico y biológico relativamente estable para cumplir su finalidad: la alimentación del recién nacido para su óptimo desarrollo. Al mismo tiempo, si la leche no sigue su función natural, la riqueza en su composición ocasiona su rápida degradación, debido a su propio sistema enzimático, a la cantidad de células somáticas y a la carga microbiana adquirida desde su obtención (ordeña) hasta su procesamiento. Todo en su conjunto se convierte en el sustrato que permite el desarrollo de diferentes poblaciones de microorganismos. La limpieza y la higiene durante todo el manejo de la leche en la granja reduce la carga microbiana a un mínimo, aunque en términos regulatorios en México, una leche bronca o cruda de máxima calidad denominada Clase 1 tendría <100,000 UFC/mL de microorganismos mesofílicos aerobios, (NMX-F-700-COFOCALEC-2004 SISTEMA PRODUCTO LECHE; VACA, LECHE CRUDA; ESPECIFICACIONES FISICOQUÍMICAS, SANITARIAS Y MÉTODOS DE PRUEBA, 2004), de acuerdo con Fuentes-Coto *et al.*, (2013) la leche podría contener menos de 50 UFC/mL de este grupo de microorganismos, realizando una higiene cuidadosa de la teta y del equipo de ordeño, con lo cual se lograría un proceso aséptico para obtener cuentas bajas. La realidad nos indica que el mantener bajas cuentas microbianas es complicado, de ahí que se requiera que además de la higiene se utilicen procesos que eliminen riesgos sanitarios y extiendan su vida útil de la leche y sus derivados. En esta sección seguiremos diferenciando entre los microorganismos que imprimen riesgo sanitario y los que por el contrario aportan beneficios a los productos y al consumidor, debido a su actividad metabólica que usa la leche como sustrato, dando lugar a compuestos antimicrobianos, bioactivos, y otros, responsables de la propiedades distintivas del producto.

Partiremos de que, independientemente de la carga microbiana, la diversidad de las poblaciones de los microorganismos de la leche está

directamente relacionada con la salud del animal y con el ambiente que circunda el proceso. Otros factores como el clima de la región o la estación del año, pueden ocasionar que predominen ciertos grupos microbianos y otros no, como los coliformes que proliferan en climas con veranos cálidos y lluviosos, en comparación con la temporada de invierno (Cancino-Padilla *et al.*, 2017; Fuentes-Coto *et al.*, 2013). Esta variabilidad de factores hace difícil asociar la presencia de un microorganismo a una simple práctica zootécnica. En las tablas 6.3 a y b se puede observar la incidencia y predominio de las fuentes indirectas y directas de microorganismos aislados del animal y del ambiente lechero, donde habrá de notarse que los microorganismos tanto benéficos como los que asumen deterioro de productos o equipos de proceso, riesgos sanitarios, o resultan de interés comercial, puede provenir de la misma fuente.

Tablas 6.3. a y b Descripción del predominio relativo de diferentes microorganismos aislados de fuentes directas e indirectas. Adaptado de Montiel (Montiel *et al.*, 2014).

	Fuente	Dominan	subdominan
Fuentes directa	El canal de la teta	Domina la Phyla Actinobacteria y Firmicutes (<i>Clostridiaceae</i> , <i>Staphylococcaceae</i>)	<i>Lactobacillaceae</i> , <i>Enterococcaceae</i> < <i>Protobacteria</i>
	La superficie de la teta (no todo todas especies que están alrededor se encuentran en la leche)	Dominan las coagulasa (-) <i>Staphylococci</i> <i>Coryneform bacteria</i> , <i>Enterobacteriaceae</i> , bacterias deterioradoras (esporuladas), BAL (<i>Lactococcus lactis</i>) Bacterias Gram (-) bacteria que no fermentan como <i>Pseudomonas</i>	
	Superficies del equipo de ordeño (Acero inoxidable, plástico, empaques, vidrio, etc.,)	Biopelículas ↑ UFC/mL (de 150 a 3500 - 5000)	
Fuentes indirectas	Agua de lavado	Contribuye con la mayor parte de los gpos. encontrados en la leche bronca BAL ; <i>Staphylococcus sp.</i> <i>Coryneform bacteria</i> (<i>Micrococcus sp.</i>), bacterias Gram (-) (<i>Pseudomonas sp.</i> , <i>Hafnia alvei</i>) y levaduras	

a

	Fuente	Dominan	Subdominan
	Fuentes indirectas		
	pastura	↑ Gram(-) <i>Enterobacteriaceae</i> <i>Staphylococci</i> , <i>Coryneform bacteria</i> (<i>Curtobacterium</i> sp) y levaduras	↓ BAL (<i>Lactococcus lactis</i> <1.6 log)
	ensilados	BAL (<i>Pediococcus pentosaceus</i> ; lactobacilli,	enterococos, <i>Pseudomonas</i> coliformes hongos y levaduras, también bacterias tipo hongos filamentosos
	heno	Géneros de hongos (<i>Eurotium</i> sp.), <i>Actinomycetaceae</i> mesofilicas y termofilicas, Gram (+)(<i>Curtobacterium</i> sp., <i>Bacillus</i> y <i>Paenibacillus</i> sp. y Gram (-) bastones (<i>Pantoea</i> y <i>Pseudomonas</i> sp.)	
	Área de lavado y sala de ordeña (agua, aerosoles y biopelículas)	levaduras, <i>Pseudomonas</i> sp. y coliformes Aerosoles: Establos chicos n<60 predominan: <i>Microbacteriaceae</i> , <i>Staphylococcaceae</i> , <i>Bacillus</i> , <i>Streptomyces</i> y hongos (<i>Eurotium</i> sp. y <i>Aspergillus</i> sp.). Establos grandes (n>800) , <i>Proteobacteria</i> dominan	En aerosoles subdominan BAL y bacterias Gram (-) bacteria
	Materia fecal (En todas las etapas)	Enterobacteriaceae, spoilage bacteria (e.g. esporas de bacterias ácidobutíricas), levaduras (e.g. <i>Candida lambica</i> , <i>Saccharomyces exiguous</i>) <i>Bifidobacterium</i> , y varias BAL (<i>Aerococcus viridans</i> , <i>Enterococcus hirae</i> , <i>Lactobacillus mucosae</i> , <i>Lactobacillus brevis</i> , y <i>Lactobacillus plantarum</i>)	
Equipo de proceso (quesos) Bioelículas en utensilios, contenedores de madera	Contribuye como inoculo de BAL Especies particulares, cepas que se mantienen por meses en una granja		

6.4.2 Efecto de la diversidad de microorganismos nativos y adicionado en los lácteos.

Los procesos fermentativos, como en el caso de las leches acidificadas y la maduración, como en el caso de los quesos, van diferenciando las poblaciones de los lácteos cuando se elaboran sin la adición de cultivos comerciales, sino que su calidad y tipicidad están supeditadas a la microbiota autóctona de la leche con la que se elaboran.

Se ha reportado que la diversidad de la microbiota autóctona es particular de los quesos tradicionales elaborados con leche bronca, y es determinante en las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de cada uno, debido al desarrollo de compuestos que contribuyen a su textura, aroma y sabor (Mounier *et al.*, 2008; Quigley *et al.*, 2012). El cheddar de granja es

uno de los quesos más estudiados, en el que se han identificado los grupos microbianos responsables de liberar compuestos característicos de este queso, los cuales actúan como un consorcio y como resultado del tiempo y condiciones de maduración (Beresford *et al.*, 2001; McSweeney & Sousa, 2000; O'Sullivan *et al.*, 2013; T. K. Singh *et al.*, 2003).

También la diversidad microbiana en los lácteos se ha estudiado en términos de la relación entre la ecología microbiana de una región y la calidad de productos protegidos con indicaciones geográficas. Por ejemplo, los quesos y las carnes curadas del norte de Italia comparten una microbiota nativa similar entre sí, a pesar de ser producidos en plantas procesadores distantes, aunque dentro de la misma región (Dal Bello *et al.*, 2010).

Adicionalmente, se ha observado una reducción progresiva en los recuentos de enterobacterias, incluyendo *Escherichia coli*, en productos lácteos de leche cruda, particularmente en quesos durante la etapa de maduración en quesos, llegando a la conclusión que es la acción de las BAL que producen ácido láctico, CO₂ y péptidos antimicrobianos lo que inhibe o desactiva su crecimiento (Piras *et al.*, 2013). La acidificación rápida de algunas bacterias, junto con una concentración progresiva de ciertos metabolitos y otros componentes químicos se ha encontrado en quesos italianos; uno de estos es el queso Pecorino Siciliano fabricado a partir de leche de oveja, que alcanza un pH de 5,5 a los 15 días de la maduración y cuya microbiota fue identificada con métodos moleculares, la cual resultó compuesta por una amplia diversidad de microorganismos, dentro de ellos diferentes especies de lactobacilos, lactococos, estreptococos, leuconostoc y enterobacterias (Randazzo *et al.*, 2007)

Además de las BAL presentes en diversos productos lácteos tradicionales e industriales, recientemente se ha encontrado que, otros grupos bacterianos se asocian a ellas. Son otros géneros y especies asociadas al ambiente quesero y que por mucho tiempo fueron consideradas contaminantes, tampoco pertenecían al inóculo (en la caso de los quesos industriales); sin embargo investigaciones recientes, han encontrado que varias bacterias no ácido lácticas nBAL son parte del perfil microbiano de afamados quesos tradicionales, particularmente los elaborados con leche cruda, algunos de ellos inoculados en su superficie y de aquellos madurados en salmuera y que, por tanto, contribuyen a sus características típicas (Beresford *et al.*, 2001; Deetae *et al.*, 2007; Schröder *et al.*, 2011).

Ciertas nBAL producen compuestos volátiles valiosos para su perfil de aroma, es decir, éster o compuestos que contienen azufre (Mounier *et al.*, 2008). También se ha estudiado que la concentración de algunos de estos compuestos derivados de la actividad de algunas especies nBAL producen aromas no deseados, por lo tanto, su desarrollo se debe controlar para evitar tales aromas (O'Sullivan *et al.*, 2013).

6.5.3 *Metabolismo de los componentes de la leche por acción microbiana*

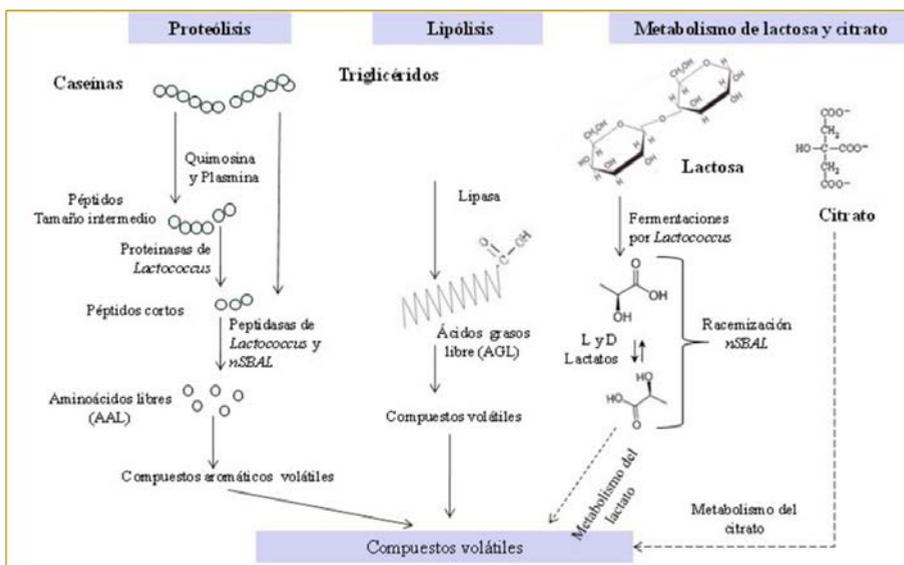
Desde el punto de vista bioquímico, la fermentación de la leche o la maduración de un queso siguen reacciones semejantes a la descomposición de ella. La diferencia estriba en las condiciones que propicien una u otra ruta de degradación de cada uno de los componentes de la leche. En una fermentación o producción de una leche acidificada como el Kéfir o el Kumis, la lactosa y microorganismos específicos serán las entidades involucradas en propiciar la acidificación de la leche y a partir de ese ambiente, el desarrollo de otros agentes microbianos, para finalmente dar lugar a los componentes deseados de cada producto. En el caso de algunos quesos madurados, se propicia de igual manera la preparación de la leche, fraccionando la lactosa, transformándola en ácido láctico, lo que se consigue por la acción microbiana, de géneros y especies específicos en cada variedad de queso y una vez conseguido el medio ácido, otros microorganismos presentes en la leche (BAL y nBAL) continuarán su acción fraccionando las proteínas y grasas, en función de las condiciones (tiempos, temperaturas, estado físico en el que se encuentre la leche como materia prima o sustrato), tipo de producto que se va a elaborar y por acción de las enzimas (proteolítica y lipolíticas) tanto de los microorganismos que participen y de la propia leche y de las células somáticas⁴.

En términos sencillos, el metabolismo de la lactosa por la acción microbiana resulta en el fraccionamiento de la molécula original: una glucosa unida a una galactosa, en su monómeros, y a partir de ahí, ambas seguir rutas que pueden dar lugar a ácido láctico, o a otros compuestos derivados de nuevas reacciones como alcoholes, aldehídos, ésteres y

⁴ Las células somáticas son un conjunto de materia orgánica compuesto de glóbulos blancos, células de descamación de la ubre, microorganismos muertos, entre otros, su cuantificación sirve de indicador de la salud del animal, una leche de clase a debe contener < 400,000 del/mL, de acuerdo a la normatividad mexicana (NMX-F-700-COFOCALEC-2004 SISTEMA PRODUCTO LECHE; VACA, LECHE CRUDA; ESPECIFICACIONES FÍSICOQUÍMICAS, SANITARIAS Y MÉTODOS DE PRUEBA, 2004).

cetonas. Las proteínas serán objeto de reacciones hidrolíticas, que primero las desdobarán de su estructura nativa y progresivamente, en función de las enzimas presentes en el medio, se producirán oligopéptidos, a partir de ellos, péptidos y finalmente aminoácidos, los cuales están asociados a la textura característica de un producto en específico. Por su parte el metabolismo de las grasas implica la liberación de ácidos grasos, debido al rompimiento de los enlaces que los mantienen unidos a la estructura original de los triglicéridos; a partir de ahí y si existen las condiciones, se continuaría su transformación para producir también más compuestos de impacto en el aroma y sabor del producto. En la figura 6.2 se muestra un esquema que simplifica la serie de reacciones implicada en el metabolismo de los compuestos de la leche.

Figura 6.2 Esquema de las rutas del metabolismo de los compuestos mayoritarios de la leche. Adaptado de Tunick (2007).



6.5.4 Identificación de la microbiota nativa del queso Cotija región de origen.

El grupo de investigadores de CIATEJ tuvieron interés en identificar la composición de las poblaciones microbianas que contribuyen a desarrollar las características típicas del Cotija Región de Origen (Chombo-Morales *et al.*, 2016). Identificaron con técnicas moleculares (DGGE-PCR) la dinámica y el perfil microbiano autóctono de este queso durante tres meses de maduración. Encontraron que se compone de BAL, nBAL y de levaduras y que su distribución es diferenciada dependiendo de la sección de las piezas de queso. Las BAL predominan en el interior del queso, mientras que las levaduras y nBAL se encuentran mayoritariamente en la corteza. Los géneros *Leuconostoc*, *Lactobacillus*, *Weissella*, *Aerococcus*, *Enterococcus*, *Carnobacterium* y las levaduras *Candida etchellsii*, *Pichia kudriavzevii* y *Moniliella suaveolens* se encontraron en la matriz o interior del queso, resultando dominante *Leuconostoc mesenteroides*. También encontraron que, antes de que se forme la corteza característica de este queso, su superficie se va poblando de algunos de estos microorganismos, aunque conforme avanza el proceso de maduración, la corteza se puebla de *Kluyveromyces lactis*, *Kodamaea ohmeri* junto con bacterias no lácticas (nLAB) *Psychrobacter celeri* y *Corynebacter variabile* distintivas en esta parte del queso (tabla 6.4).

Tabla 6.4. Microorganismos identificados por DGGE-PCR en diferentes partes de piezas de queso Cotija (superficie o costra, pasta o matriz media y centro). Fuente: Investigación propia.

Sección del queso		Costra o superficie (Cr)			Pasta o matriz media (P)			Centro (Ce)			Accession		
Genero	Especie (%)	Covertura (%)	Identidad (%)	Especie	Covertura (%)	Identidad (%)	Especie	Covertura (%)	Identidad (%)	number			
Bacteria no-ácido-lácticas (nBAL)													
<i>Psychrobacter</i>	<i>P. celer</i>	100	100	(10-13)	-	-	-	-	-	-	KM877253.1		
<i>Corynebacter</i>	<i>C. variabile</i>	100	100	(19, 20)	-	-	-	-	-	-	NR_025314.1		
Bacterias ácido-lácticas (BAL)													
<i>Leuconostoc</i>	<i>L. mesenteroides</i>	99	100	(14)	<i>L. mesenteroides</i>	100	99	(47)	<i>L. mesenteroides</i>	100	100	(27)	NR_118557.1
		100	100	(15)	<i>L. mesenteroides</i>	100	100	(48-50)	<i>L. mesenteroides</i>	100	99	(25, 26)	
		-	-	-	<i>L. mesenteroides</i>	100	98	(40, 44)	-	-	-	-	
<i>Weissella</i>	-	-	-	-	<i>W. oryzae</i>	100	97	(39)	-	-	-	-	NR_1143124.
<i>Aerococcus</i>	<i>A. viridans</i>	100	100	(1;16-18)	<i>A. viridans</i>	100	99	(53-58)	<i>A. viridans</i>	100	100	(29, 32-34)	AY707779
		-	-	-	-	-	-	-	<i>A. viridans</i>	100	99	(28, 30, 31)	
<i>Carnobacter</i>	-	-	-	-	<i>C. alterfunditum</i>	100	98	(43)	-	-	-	-	NR_104715.1
<i>Lactobacillus</i>	<i>Lb. brevis</i>	100	98	(3)	<i>Lb. brevis</i>	100	98	(59)	-	-	-	-	NR_044704
		-	-	-	<i>Lb. brevis</i>	100	97	(46)	-	-	-	-	
		-	-	-	-	-	-	-	<i>Lb. farcininis</i>	100	100	(36)	M58817
		-	-	-	-	-	-	-	<i>Lb. farcininis</i>	100	99	(37)	
		-	-	-	-	-	-	-	<i>Lb. farcininis</i>	100	98	(23)	
		-	-	-	-	-	-	-	<i>Lb. homohiochii</i>	100	99	(38)	NR_113818.7
		-	-	-	<i>Lb. mudanjiangensis</i>	100	98	(45)	<i>Lb. mudanjiangensis</i>	100	97	(22, 24)	NR_125561.1
		-	-	-	-	-	-	-	<i>Lb. acidipiscis</i>	100	99	(35)	NR_112693.1
<i>Enterococcus</i>	-	-	-	-	<i>E. faecalis</i>	100	99	(41, 42)	-	-	-	-	GU585587
Levaduras													
<i>Moniliella</i>	<i>M. suaveolens</i>	100	99	(11, 12)	<i>M. suaveolens</i>	92	100	(3)	-	-	-	-	LC004102
		-	-	-	<i>M. suaveolens</i>	91	100	(8)	-	-	-	-	
<i>Candida</i>	<i>C. etchellsii</i>	94	100	(8)	<i>C. etchellsii</i>	100	98	(2)	-	-	-	-	AB196184
<i>Kodamaea</i>	<i>K. ohmeri</i>	100	100	(16)	-	-	-	-	-	-	-	-	AF335976
<i>Pichia</i>	<i>P. kudriavzevii</i>	100	100	(15)	<i>P. kudriavzevii</i>	100	100	(6)	-	-	-	-	KC601852
	<i>P. kudriavzevii</i>	100	99	(2)	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>Kluyveromyces</i>	<i>K. lactis</i>	100	100	(5)	-	-	-	-	-	-	-	-	CR382141

Consensos de secuencias con alineación significativa por BLAST con secuencias de cepas de colección o aisladas (>97% identidad y maxi score y cobertura). NCBI (<http://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>). Los números entre paréntesis representan las respectivas bandas mostradas en las figuras de los geles-DGGE.

En algunos otros quesos de leche bronca frescos y madurados *Leuconostoc mesenteroides* se encuentra comúnmente. Este microorganismo es galactosa-positivo, es un *micrococcus* hetero-fermentativo, que produce D- y L-lactato por la vía de la fosfoctolasa, es citrato + y ciertas cepas producen dextranos, más otros compuestos bio-funcionales (Beresford *et al.*, 2001; McSweeney & Fox, 2009). Algunas de las especies de Lactobacilos y Weissella encontradas en esta investigación también fueron reportados en Cotija producido en laboratorio en búsqueda de bacterias halotolerantes (Flores-Magallón *et al.*, 2011; Morales *et al.*, 2011). Algunas especies de bacterias no lácticas (nLAB) como *Psychrobacter celer* y *Corynebacter variable* son psicrófilas y aerobias altamente lipolíticas y proteolíticas (Deetae *et al.*, 2007); mientras que *Weissella sp.* se ha asociado a la producción de compuestos volátiles y dextranos y es responsable de los cambios sensoriales y de la producción de algunos péptidos asociados con actividad biofuncional en algunos quesos madurados (Deetae *et al.*, 2007; Montel *et al.*, 2014), de hecho, *W. cibaria* tiene propiedades

funcionales debidas a la producción de dextranos y se ha aislado de los alimentos tradicionales fermentados (Rao & Goyal, 2013). La presencia de *Psychrobacter* en el queso cotija podría explicar su origen de la sal marina sin refinar que normalmente se utiliza en el procesamiento (Chombo-Morales, 2007). Finalmente, algunas de las levaduras que se encontraron en este trabajo se han asociado con los alimentos fermentados. *Kodamaea ohmeri* se ha asociado con encurtidos y *Candida etchellsii* se ha relacionado con los alimentos de soya fermentada (Suezawa *et al.*, 2006).

En conjunto, la diversidad de las poblaciones microbianas más los cambios fisicoquímicos que tienen lugar durante la maduración de este queso (como la reducción de pH y de la actividad de agua revisada en el anterior en la sección 5.3), explican el impacto de la ecología microbiana de la región donde se produce en su calidad e inocuidad, y al mismo tiempo predicen la síntesis o degradación de metabolitos que dan lugar a los compuestos que le dan identidad a este queso.

6.5.5 Comentarios finales

Es muy importante diferenciar entre los microorganismos que son nuestros aliados en el procesamiento para obtener productos de calidad diferenciada y con beneficios a la salud el consumidor, de los microorganismos que pueden deteriorar y causar grandes pérdidas a un negocio pequeño o a una gran industria, o que, en el extremo enfermen o causen la muerte a un consumidor. La ciencia y la tecnología son los aliados necesarios para sumar el conocimiento de la microbiología de la leche en el control de la producción, el desarrollo y la innovación de los lácteos.

6.6 Conclusiones

En este capítulo se resaltó la importancia de los microorganismos como agentes de transformación de la leche y sus derivados. Se revisó la procedencia de los géneros y especies más comunes del ambiente lechero, así como la amplia diversidad de microorganismos que pueden habitar y desarrollarse en la teta del animal, entrar en contacto con la leche y de ahí hacia la planta procesadora. Se revisaron a detalle las condiciones de control de los microorganismos que pueden alterar la calidad de los productos, o que, pueden ser agentes infecciosos causante de enfermedades graves,

inclusive la muerte. También en este espacio, se tocó el beneficio de otros grupos de microorganismos, que mediante diversas investigaciones se han podido asociar positivamente a la calidad y autenticidad de algunos derivados lácteos, esto como consecuencia del metabolismo de ciertas cepas específicas que solas o en consorcios modifican dando lugar a texturas, aromas, sabores característicos de los lácteos.

6.7 Bibliografía

- Arencibia, D. F., Rosario, L. A., & Gámez, R. (2008). Métodos Generales de Conservación de Microorganismos. *Liorad*, February, 14.
- Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria. (2018). The European Union summary report on trends and sources of zoonoses, zoonotic agents and food-borne outbreaks in 2017. *EFSA Journal*, 16(12). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5500>
- Beresford, T. P., Fitzsimons, N. A., Brennan, N. L., & Cogan, T. M. (2001). Recent advances in cheese microbiology. *International Dairy Journal*, 11(4–7), 259–274. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(01\)00056-5](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(01)00056-5)
- Bernardino-Varo, L., Quiñones-Ramírez, E. I., Fernández, F. J., & Vázquez-Salinas, C. (2013). Prevalence of *Yersinia enterocolitica* in raw cow's milk collected from stables of Mexico City. *Journal of Food Protection*, 76(4), 694–698. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-12-325>
- Bourdichon, F., Casaregola, S., Farrokh, C., Frisvad, J. C., Gerds, M. L., Hammes, W. P., Harnett, J., Huys, G., Laulund, S., Ouwehand, A., Powell, I. B., Prajapati, J. B., Seto, Y., Ter Schure, E., Van Boven, A., Vankerckhoven, V., Zgoda, A., Tuijtelaars, S., & Hansen, E. B. (2012). *Food fermentations: Microorganisms with technological beneficial use*. *International Journal of Food Microbiology*, 154(3), 87–97. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.12.030>
- Bylund, Gösta. (1995). Cheese. Tradition And Basic Knowledge. In Teknotext AB (Ed.), *Dairy Processing Handbook* (1st ed.). Tetra Pak Processing Systems AB.
- Bylund, Gösta. (1995). Heat exchangers. In Teknotext AB (Ed.), *Dairy Processing Handbook* (1st ed.). Tetra Pak Processing Systems AB.
- Cancino-Padilla, N., Fellenberg, M. A., Franco, W., Ibáñez, R. A., &

- Vargas-Bello-Pérez, E. (2017). Foodborne bacteria in dairy products: Detection by molecular techniques. *Ciencia e Investigación Agraria*, 44(3), 215–229. <https://doi.org/10.7764/rcia.v44i3.1811>
- Castellanos, N. A. M., Gómez, L. M. P., Parra, A. K. C., Neiza, N. C. G., Rodríguez, M. C. O., & Neira, Y. S. (2019). En *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología* (Vol. 56, Issue 1). Editorial Ciencias Médicas.
- Centers for Disease Control and Prevention. (2017). *Raw Milk Questions and Answers | Raw Milk | Food Safety | CDC*.
- Chambers, J. V. (2005). The Microbiology of Raw Milk. In R. K. (Richard K. Robinson (Ed.), *Dairy Microbiology Handbook* (pp. 39–90). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/0471723959.ch2>
- Chombo-Morales, P. (2007). La denominación de origen. Acompañamiento tecnológico para la certificación y revaloración de productos artesanales. In A. Alvarez-Macías, F. Boucher, F. Cervanes-Escoto, & A. Espinoza-Ortega (Eds.), *Agroindustria Rural y Territorio* (Primera Ed, p. 247). UAEM.
- Chombo-Morales, P., Kirchmayr, M., Gschaedler, A., Lugo-Cervantes, E., & Villanueva-Rodríguez, S. (2016). Effects of controlling ripening conditions on the dynamics of the native microbial population of Mexican artisanal Cotija cheese assessed by PCR-DGGE. *LWT - Food Science and Technology*, 65, 1153–1161. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.09.044>
- Claeys, W. L., Cardoen, S., Daube, G., De Block, J., Dewettinck, K., Dierick, K., De Zutter, L., Huyghebaert, A., Imberechts, H., Thiange, P., Vandenplas, Y., & Herman, L. (2013). Raw or heated cow milk consumption: Review of risks and benefits. *Food Control*, 31(1), 251–262. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2012.09.035>
- Dal Bello, B., Rantsiou, K., Bellio, A., Zeppa, G., Ambrosoli, R., Civera, T., & Cocolin, L. (2010). Microbial ecology of artisanal products from North West of Italy and antimicrobial activity of the autochthonous populations. *LWT - Food Science and Technology*, 43(7), 1151–1159. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.03.008>
- Deetae, P., Bonnarme, P., Spinnler, H. E., & Helinck, S. (2007). Production of volatile aroma compounds by bacterial strains isolated from different surface-ripened French cheeses. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 76(5), 1161–1171. <https://doi.org/10.1007/s00253-007-1095-5>

- Deeth, H. C., & Datta, N. (2011). Heat Treatment of Milk | Ultra-High Temperature Treatment (UHT): Heating Systems. *Encyclopedia of Dairy Sciences*, 699–707. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374407-4.00216-8>
- Elmer H. Marth, J. L. S. (1998). *Applied Dairy Microbiology*, 2nd ed. : Elmer H. Marth, James L. Steele : Free Download, Borrow, and Streaming : Internet Archive.
- FAO, C. del codex Alimentarius. (2000). CX/MMP00/15 Programa Conjunto Fao/Oms Sobre Normas Alimentarias. Tema 5 del Programa. Definiciones De Tratamiento Térmico.
- Fernandes, R. (2009). 1. Liquid Milk Products. In R. Fernandes (Ed.), *Microbiology Handbook* (pp. 1–19). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/9781847559432-00001>
- Flores-Magallón, R., Oliva-Hernández, A. A., & Narváez-Zapata, A. A. (2011). Characterization of microbial traits involved with the elaboration of the Cotija cheese. *Food Science and Biotechnology*, 20(4), 997–1003. <https://doi.org/10.1007/s10068-011-0137-z>
- Fuentes-Coto, G., Ruiz-Romero, R. A., Sánchez-Gómez, J. I., Ávila-Ramírez, D. N., & Escutia-Sánchez, J. (2013). Análisis microbiológico de leche de origen orgánico: atributos deseables para su transformación. *Agricultura Sociedad y Desarrollo*, 10(4), 419. <https://doi.org/10.22231/asyd.v10i4.134>
- Hodgson, H. E., & Reed, O. E. (1944). Venta de Leche Sistemas de venta. In U. S. G. P. Office (Ed.), *Manual de lechería para la América tropical* (1a ed., pp. 292–302). Publicada por el Servicio de Lenguas Extranjeras de la Secretaria de Estado de Estados Unidos como parte del programa del Comité Interdepartmental de Cooperación Científica y Cultural.
- Hughenoltz, J. (2008). The lactic acid bacterium as a cell factory for food ingredient production. *International Dairy Journal*, 18(5), 466–475. <https://doi.org/10.1016/J.IDAIRYJ.2007.11.015>
- Markandmarkets. (2021). Starter Culture Market by Microorganism, Application, Composition, Region - Global Forecast to 2025 | MarketsandMarkets.
- McSweeney, P. L. H., & Fox, P. F. (2009). Advanced dairy chemistry. In *Advanced Dairy Chemistry* (Vol. 3). <https://doi.org/10.1007/978-0-387-84865-5>

- McSweeney, P. L. H., & Sousa, M. J. (2000). *Biochemical pathways for the production of flavour compounds in cheeses during ripening: A review*. *Lait*, 80(3), 293–324. <https://doi.org/10.1051/lait:2000127>
- Montel, M. C., Buchin, S., Mallet, A., Delbes-Paus, C., Vuitton, D. A., Desmasures, N., & Berthier, F. (2014). Traditional cheeses: Rich and diverse microbiota with associated benefits. *International Journal of Food Microbiology*, 177, 136–154. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2014.02.019>
- Morales, F., Morales, J. I., Hernández, C. H., & Hernández-Sánchez, H. (2011). Isolation and partial characterization of halotolerant lactic acid bacteria from two Mexican cheeses. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 164(6), 889–905. <https://doi.org/10.1007/s12010-011-9182-6>
- Mounier, J., Monnet, C., Vallaes, T., Arditi, R., Sarthou, A. S., Hélias, A., & Irlinger, F. (2008). Microbial interactions within a cheese microbial community. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(1), 172–181. <https://doi.org/10.1128/AEM.01338-07>
- NMX-F-700-COFOCALEC-2004 *Sistema producto leche; vaca, leche cruda; especificaciones fisicoquímicas, sanitarias y métodos de prueba*, (2004).
- O’Sullivan, D. J., Giblin, L., McSweeney, P. L. H., Sheehan, J. J., & Cotter, P. D. (2013). Nucleic acid-based approaches to investigate microbial-related cheese quality defects. *Frontiers in Microbiology*, 4(JAN). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2013.00001>
- Parente, E., Cogan, T. M., & Powell, I. B. (2017). Starter Cultures: General Aspects. In *Cheese: Chemistry, Physics and Microbiology: Fourth Edition* (Vol. 1, pp. 201–226). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-417012-4.00008-9>
- Photis, P., & Maria, A. (2014). Dairy Pathogens: Characteristics and Impact. In P. Papademas (Ed.), *Dairy Microbiology* (pp. 79–123). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b17915-6>
- Piras, C., Marincola, F. C., Savorani, F., Engelsen, S. B., Cosentino, S., Viale, S., & Pisano, M. B. (2013). A NMR metabolomics study of the ripening process of the Fiore Sardo cheese produced with autochthonous adjunct cultures. *Food Chemistry*, 141(3), 2137–2147. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.04.108>

- Poltronieri, P., & Rossi, F. (2017). Stabilization of milk quality by heat treatments. In *Microbiology in Dairy Processing* (pp. 63–69). John Wiley & Sons Ltd and the Institute of Food Technologists. <https://doi.org/10.1002/9781119115007.ch4>
- Prajapati, J. B., Sankara Reddy, I., & Sreeja, V. (n.d.). *Starter Cultures and Fermented Milk Products*.
- Quigley, L., O’Sullivan, O., Beresford, T. P., Paul Ross, R., Fitzgerald, G. F., & Cotter, P. D. (2012). A comparison of methods used to extract bacterial DNA from raw milk and raw milk cheese. *Journal of Applied Microbiology*, 113(1), 96–105. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2012.05294.x>
- Randazzo, C. L., De Luca, S., Todaro, A., Restuccia, C., Lanza, C. M., Spagna, G., & Caggia, C. (2007). Preliminary characterization of wild lactic acid bacteria and their abilities to produce flavour compounds in ripened model cheese system. *Journal of Applied Microbiology*, 103(2), 427–435. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2006.03261.x>
- Rao, T. J. M., & Goyal, A. (2013). A novel high dextran yielding *Weissella cibaria* JAG8 for cereal food application. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 64(3), 346–354. <https://doi.org/10.3109/09637486.2012.734289>
- Robinson. (1987). *Microbiología Lactológica* (1a. edición). Acribia, S. A.
- Rodarte, C. W. (2014). *La biotecnología alimentaria antigua: los alimentos fermentados*. 15, 1607–6079.
- Schröder, J., Maus, I., Trost, E., & Tauch, A. (2011). Complete genome sequence of *Corynebacterium variabile* DSM 44702 isolated from the surface of smear-ripened cheeses and insights into cheese ripening and flavor generation. *BMC Genomics*, 12. <https://doi.org/10.1186/1471-2164-12-545>
- Singh, H., & Bennett, R. (2005). Milk and Milk Processing. In R. K. (Richard K. Robinson (Ed.), *Dairy Microbiology Handbook* (Third edit, pp. 1–38). John Wiley & Sons, Inc. <https://doi.org/10.1002/0471723959.ch1>
- Singh, T. K., Drake, M. A., & Cadwallader, K. R. (2003). Flavor of Cheddar Cheese: A Chemical and Sensory Perspective. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2(4), 166–189. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2003.tb00021.x>

- Suezawa, Y., Kimura, I., Inoue, M., Gohda, N., & Suzuki, M. (2006). Identification and typing of miso and soy sauce fermentation yeasts, *Candida etchellsii* and *C. versatilis*, based on sequence analyses of the DID2 domain of the 26S ribosomal RNA gene, and the region of internal transcribed spacer 1, 5.8S ribosomal RNA gen. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 70(2), 348–354. <https://doi.org/10.1271/bbb.70.348>
- Tunick, M. H. (2007). Origins of cheese flavor. *ACS Symposium Series*, 971, 155–173. <https://doi.org/10.1021/bk-2007-0971.ch009>
- Verraes, C., Vlaemynck, G., Van Weyenberg, S., De Zutter, L., Daube, G., Sindic, M., Uyttendaele, M., & Herman, L. (2015). A review of the microbiological hazards of dairy products made from raw milk. *International Dairy Journal*, 50, 32–44. <https://doi.org/10.1016/J.IDAIRYJ.2015.05.011>
- Weill, R. (2017). *El yogur, un alimento milenario a la luz del siglo xxi*.
- Yang, B., Shi, Y., Xia, X., Xi, M., Wang, X., Ji, B., & Meng, J. (2012). Inactivation of foodborne pathogens in raw milk using high hydrostatic pressure. *Food Control*, 28(2), 273–278. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCONT.2012.04.030>
- Zavala, J. (2005). *Aspectos Nutricionales y Tecnológicos de la Leche*. Ministerio De Agricultura, I, 60.

Capítulo 7

Lácteos fermentados y salud intestinal

Gastélum-Martínez Élida^{1}*

Blasco-López Gabriela²

Arriзон-Gaviño Javier³

7.1 Introducción

Los alimentos lácteos fermentados, además de contar con aromas y sabores únicos y exquisitos para el consumidor, conservan el beneficio del efecto probiótico. En el mundo existen más de mil tipos diferentes de alimentos lácteos fermentados. En este capítulo entenderemos qué son los lácteos fermentados, su aporte benéfico a la salud y abordaremos las características de tres productos de amplio consumo mundial: yogur, kéfir y jocoque. Este último un alimento lácteo fermentado nativo de México.

7.2 ¿Qué son los lácteos fermentados y cómo afectan la salud intestinal?

7.2.1 Definición de lácteos fermentados

En términos generales los lácteos fermentados son aquellos alimentos (sólidos o líquidos) de origen lácteo que han sufrido una transformación en su composición llevada a cabo por microorganismos en un proceso conocido como fermentación.

¹ Sede Sureste. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ). Km 5.5 Carretera Sierra Papacal-Chuburná Puerto. Parque Científico Tecnológico de Yucatán. C.P. 97302. Mérida, Yucatán, México. egastelum@ciatej.mx. * Corresponding author.

² Facultad de Nutrición. Universidad Veracruzana. Carmen Serdán esq. Iturbide s/n Co. Centro. C.P. 91700. Veracruz, Veracruz, México. gblasco@uv.mx

³ Unidad de Biotecnología Industrial. Subsede Zapopan. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Camino Arenero 1227, el Bajío. C.P. 45019. Zapopan, Jalisco, México. jarrizon@ciatej.mx

Entonces ¿cuáles son los ejemplos más sencillos de alimentos lácteos fermentados? Fácil, el queso y el yogur. En el mundo existen miles de alimentos lácteos fermentados con nombres tan diversos como el sabor de éstos como el kéfir (Cáucaso), skyr (Islandia) o el kumys (Mongolia), entre otros. En México tenemos el queso crema de Chiapas, el queso de bola de Ocosingo (Chiapas), el queso de poro (Tabasco) y el jocoque, sólo por mencionar algunos. Todos estos son alimentos de origen lácteo que son fermentados para poder lograr su tan característica forma, color, olor y sabor.

La fermentación de estos productos lácteos se lleva a cabo por bacterias ácido-lácticas principalmente, aunque bacterias ácido-acéticas, hongos y levaduras también pueden tener un papel importante en el desarrollo del alimento lácteo fermentado terminado.

7.2.2 *Microorganismos en los lácteos fermentados*

El proceso de fermentación mayormente mejora las características sensoriales y nutricionales de los alimentos, así como la biodisponibilidad de los nutrientes, es decir, se absorben con mayor rapidez y con mayor efectividad en el cuerpo. En el caso de los lácteos, los microorganismos que usualmente están presentes y son los responsables de esta fermentación son las bacterias ácido-lácticas (BAL) que además tienen capacidad de reducir o eliminar compuestos tóxicos o antinutrientes como la lactosa y la galactosa (García-Burgos *et al.*, 2020).

La lactosa en los alimentos lácteos fermentados es transformada en ácido láctico y otros compuestos de interés como péptidos bioactivos. Otra beneficio de la fermentación por estas BAL es que los carbohidratos son transformados en oligosacáridos, que también se ha reportado que tienen múltiples propiedades prebióticas.

En función de la fuente y tipo de leche, las condiciones de cultivo (temperatura, tiempo, presencia de otros compuestos) y el medio de fermentación es posible obtener un producto lácteo con ciertas características de ácido láctico, péptidos, prebióticos y otros compuestos de interés.

Dependiendo del tipo de microorganismos involucrados en la fermentación, el producto obtenido puede clasificarse en dos grandes grupos: 1) producto de fermentación láctica llevado a cabo por especies de BAL que pueden ser: a) termofílicas como el yogur; b) mesofílicas, como la leche naturalmente acidificada, leche cultivada, crema cultivada; y c)

probióticas o terapéuticas, ejemplo: leche acidófilus, leche bifidus y Yakult. El otro grupo es 2) productos de fermentación por hongos lácteos, en la cual tanto BAL como levaduras participan en la fermentación para obtener a) productos alcohólicos como el kefir y koumiss y b) productos fermentados por levaduras y filamentosos acidófilos como el viili (Khorshidian *et al.*, 2020).

Existe una gran cantidad de alimentos lácteos fermentados en todo el mundo, de los cuales sólo algunos se tienen completamente caracterizados desde el tipo de microorganismos involucrados en la fermentación, proceso, características fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales, hasta los posibles beneficios a la salud que aportan gracias a su consumo. Entre los microorganismos BAL que se encuentran con mayor frecuencia en estos alimentos lácteos fermentados están:

- *Lactobacillus casei*
- *Lactobacillus brevis*
- *Lactobacillus plantarum*
- *Lactobacillus acidophilus*
- *Lactobacillus paracasei*
- *Lactobacillus helveticus*
- *Lactobacillus cremoris*
- *Lactococcus lactis subsp. cremoris*
- *Lactococcus lactis subsp. lactis*
- *Leuconostoc subsp. cremoris*
- *Leuconostoc mesenteroides subsp. cremoris*
- *Enterococcus spp.*
- *Bifidobacterium bifidum*
- *Bifidobacterium longum*
- *Bifidobacterium breve*
- *Saccharomyces*

De la larga lista de microorganismos aislados e identificados de los alimentos lácteos fermentados, sólo algunos de ellos son empleados para la fermentación controlada de estos alimentos, entre ellos encontramos: *Lactobacillus acidophilus*, *L. casei* cepa Shirota, *L. rhamnosus* cepa GC, *L. jhonsonii*, *L. helveticus*, *L. gasseri*, *L. plantarum*, *L. paracasei* subsp.

paracasei, *L. reuteri*, *Pediococcus acidilactici*, *Bifidobacterium bifidum*, *B. breve*, *B. longum*, *B. adolescentis*, *B. infantis*, *B. lactis*, *B. animalis*, *Lactococcus lactis subsp. lactis*, *Enterococcus faecium*, *E. faecalis*, *Saccaromyces boulardii* (García-Burgos *et al.*, 2020; Khorshidian *et al.*, 2020).

7.2.3 ¿Qué es la microbiota intestinal?

La microbiota intestinal es un ecosistema dinámico integrado por diversos microorganismos que habitan en el tracto gastrointestinal y que tienen efecto en la salud del hospedero (Tap *et al.*, 2021). Este ecosistema está compuesto por una población de bacterias, levaduras y otros microorganismos haciendo una cantidad superior a los 100 billones de microorganismos (10^{11} - 10^{12} células/ml), tiene un peso aproximado de 1.5 kg y tiene 150-200 veces más genes que todo el genoma humano, esto es 3.3 millones de genes contra 23,000 genes en el humano. Está compuesta principalmente por firmicutes, bacteroidetes, proteobacteria, fusobacteria, verrucomicrobia, cyanobacterias y actinobacterias, un porcentaje minoritario correspondiente a archaeas, eukariotes y virus. Esta pequeñísima fracción viral está representada por bacteriófagos que su principal papel es controlar la proliferación de especies dominantes y la transferencia horizontal de genes. Especies encontradas de levaduras se han reportado alrededor de 20 y se han encontrado principalmente en el tracto gastrointestinal de adultos sanos (Álvarez *et al.*, 2021). El filo más abundante en humanos y roedores son Firmicutes (Gram positivo de -60 % a 80 %) y Bacteroidetes (Gram negativo de -20 % a 40 %) con la característica que es extremadamente difícil de cultivar fuera de su medio nativo por lo que posiblemente esta información sólo sea una fracción real del total de microorganismos presentes en la microbiota intestinal (Stephens *et al.*, 2018).

La microbiota intestinal es dinámica ya que se mantiene cambiante durante la mayor parte de la vida del ser humano. Al nacer, y en función del tipo de nacimiento, el recién nacido hereda parte de la microbiota de la madre al estar en contacto con el tracto vaginal. Posteriormente, al alimentarse con leche materna, la microbiota del recién nacido es modificada. Desde que el ser humano nace y hasta el inicio de la edad adulta, la microbiota intestinal sufre cambios drásticos tanto en cantidad como en su composición. A lo largo de la edad adulta, se estima que el cambio en la composición de la microbiota

es prácticamente estable. Finalmente, en la vejez, la diversidad empieza a reducirse, así como la riqueza de la composición de la microbiota intestinal.

Diversos factores afectan la composición de la microbiota, sin embargo la dieta, aquello que comemos día a día, es el principal factor que afecta directamente en la cantidad y tipo de microorganismos de este ecosistema microbiano (Alessandri *et al.*, 2022). Otros factores como la edad, genética, estilo de vida, usos y costumbres, consumo de medicamentos, actividad física, entre otros pueden tener un efecto significativo bajo ciertas circunstancias en la diversidad de la microbiota intestinal.

7.2.4 ¿Qué es y cómo tener una buena salud intestinal?

Se entiende que una “buena salud intestinal” está relacionada con una microbiota intestinal con gran diversidad de especies de microorganismos que le permite resistir perturbaciones como ingesta de medicamentos (antibióticos) o desórdenes alimentarios (periodos largos de ayuno o dietas desbalanceadas) para recobrar su estabilidad en un tiempo dado.

Ya sabemos que la microbiota intestinal está conformada principalmente por Bacteroidetes y Firmicutes, sin embargo, es necesario tener en claro qué géneros importantes requerimos estén habitando el tracto gastrointestinal y cuáles son sus funciones en el hospedero. En el Filo Bacteroidetes, los géneros más representativos son *Bacteroides*, *Prevotella* y *Xylanibacter*; quienes tienen el papel de degradar una gran variedad de glicanos complejos. En el filo Firmicutes, los géneros *Ruminococcus*, *Clostridium*, *Lactobacillus*, *Roseburia*, *Eubacterium* y *Faecalibacterium* son los principales encontrados y su rol es el de producir butirato y actuar como probióticos. En el filo Actinobacterias, se encuentran los géneros *Collinsella* y *Bifidobacterium* con acción probiótica. Del filo Proteobacteria, se tienen los géneros *Escherichia* y *Desulfovibrio* para desempeñar un papel como bacterias reductoras de sulfatos. En el filo Verrucomicrobia el género *Akkermansia* desempeña un papel importante para la degradación de la mucosa. Finalmente, en el filo Arachaea (Euryarchaeota) el género *Methanobrevibacter* tiene como propósito continuar con la metanogénesis intestinal (Pushpanathan *et al.*, 2019).

Bajos niveles de bifidobacterias están asociados con varias condiciones clínicas adversas, por lo que una de las mejores y más fáciles formas de incrementar sus niveles es mediante el consumo de alimentos lácteos

fermentados que contengan probióticos vivos o incorporando a la dieta prebióticos que alimenten a las bifidobacterias que habitan la microbiota intestinal (Volkh *et al.*, 2019). Los alimentos fermentados que es posible consumir en el día a día son los lácteos fermentados: queso, yogur, leche de búlgaros o kefir, entre otros. Estos alimentos lácteos fermentados además de las propiedades nutricionales propias que aportan al consumidor microorganismos probióticos que se instalarán en el tracto gastrointestinal y contribuirán al ecosistema de microbiota intestinal del hospedero. La tabla 7.1, resume algunos de los alimentos fermentados estudiados y que han mostrado efectos benéficos a la salud.

Tabla 7.1. Efectos positivos a la salud por el consumo de alimentos lácteos fermentados, editado de (Khorshidian *et al.*, 2020).

Producto	Microorganismo probiótico	Efecto a la salud
Leche fermentada	<i>L. casei</i> Shirota	Efecto inhibitorio contra norovirus gastroenteritis
Leche fermentada	<i>L. paracasei</i> ssp. <i>paracasei</i> F19, <i>L. acidophilus</i> La5 y <i>B. lactis</i> Bb12	Mejora en síntomas de síndrome de colon irritable
	<i>B. lactis</i> CNCM I-2494	Reducción en incomodidades gastrointestinales y síntomas asociados
	<i>L. acidophilus</i> CL1285, <i>L. casei</i> LBC80R y <i>L. rhamnosus</i> DSM9126	Prevención de cáncer colorectal
Leche fermentada de camello	<i>Lactococcus lactis</i> KX881782 y <i>L. acidophilus</i> DSM9126	Actividades anticancerígenas, antidiabéticas, antioxidantes y antihipertensivas
Leche fermentada de cabra	<i>L. plantarum</i> C4	Actividades antioxidantes, antihipertensivas y antimicrobianas
Yogurt	<i>L. acidophilus</i> La5 y <i>B. lactis</i> Bb12	Mejora en la glucosa en sangre durante el ayuno y la funciones de los marcadores de suero endotelial
Yogurt	<i>L. acidophilus</i> La5 y <i>B. lactis</i> Bb12	Mejora en los síntomas de estreñimiento durante el embarazo
	<i>L. plantarum</i> YS5	Actividad hipocolesterolemica
Leche fermentada de cabra	<i>B. lactis</i>	Microbiota del intestino delgado y respuesta inmune
Leche fermentada	<i>L. paracasei</i> Jlus66	Reducción de la ganancia de peso corporal, triglicéridos, lipoproteínas de baja densidad, así como actividad aminotransferasa
Leche fermentada	<i>L. brevis</i> DL1-11	Mejora en sueño y alivio en ansiedad

Si bien la microbiota intestinal es dinámica a lo largo de la vida del ser humano y la reducción de variedad y tamaño es un proceso natural del ciclo de vida, la alimentación y actividad física favorecen significativamente la salud de ésta. Estudios de la composición de la microbiota de personas con actividad física y de personas con estilo de vida sedentario ha mostrado que las primeras tienen bacterias promotoras de la salud como *Faecalibacterium prausnitzii*, *Roseburia hominis* y *Akkermansia muciniphila*; mientras que las otras sólo *Paraprevotella* y *Desulfovibrionaceae*; otro estudio con mujeres adolescentes con obesidad, después de reducir su ingesta calórica y aplicarse una actividad física elevada mostraron incremento en Bacteroidetes, *Prevotella* y menos contenido de Clostridia (Pushpanathan *et al.*, 2019).

La dieta es un factor que influye directamente en la composición de la microbiota intestinal y por ende en la salud de la misma. Un ejemplo muy ilustrativo, es la presencia de *Zobellia galactanivorans*, una bacteria que produce una enzima que les permite digerir algas marinas y que se ha encontrado principalmente en la microbiota de la población japonesa (Pushpanathan *et al.*, 2019). Por otro lado, sabemos que dietas con un desbalance entre las grasas/carbohidratos tiene altas probabilidades de inducir desórdenes metabólicos e inflamatorios con potencial elevado para desencadenar enfermedades crónico-degenerativas.

Una alimentación balanceada y variada que contenga fibra, antioxidantes, vitaminas, minerales, carbohidratos, proteínas y grasas saludables tiene la capacidad de mantener saludable la microbiota intestinal por mucho más tiempo.

7.3 El yogur, lácteo fermentado al alcance de todos

7.3.1 ¿Qué es el yogur?

El yogur, forma parte importante de la dieta humana en muchas sociedades y es conocido con diferentes nombres en el mundo. Se cree que la palabra proviene de la palabra turca *yogurt* o *gurmak*, que significa espesar, coagular o cuajar. Las definiciones varían un poco entre países, pero para cumplir con la norma del Codex, se define como “un producto lácteo fermentado que contiene dos cepas de bacterias vivas, *Lactobacillus delbrueckii subsp bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus*”. Ambas cepas deben permanecer activas en el producto final, con un total de al menos 10 millones de bacterias

por gramo (Donovan & Hutkins, 2018). Así mismo, muchos productos comercializados actualmente se complementan con bacterias probióticas, en particular cepas de *Bifidobacterium* y *Lactobacillus*, para obtener beneficios adicionales, denominados yogures probióticos y otros productos lácteos cultivados que contienen probióticos, con criterios de valoración clínicos específicos medidos (Kok & Hutkins, 2018).

El yogur está disponible y accesible, es una buena fuente de nutrientes de alta calidad, es fácil de incorporar y es un componente recomendado de la dieta; en algunas regiones del mundo, se ha sugerido como marcador de una dieta saludable en general y, por lo tanto, el consumo es mayor entre las personas con una educación e ingresos superiores (Panahi *et al.*, 2017). La popularidad, la aceptabilidad y la imagen saludable generalmente percibida de este producto lácteo, lo convierte en un acompañamiento ideal de refrigerios o comidas en muchas culturas de todo el mundo. Su densidad de nutrientes y su contenido relativamente bajo de calorías lo convierten además en un excelente sustituto de los refrigerios ricos en energía y pobres en nutrientes (Fernandez *et al.*, 2017). El yogur se ha clasificado como un alimento ecológico por su bajo valor de emisión de gases de efecto invernadero (GEI) 200-300 g de CO₂ por 100 kcal o 100 g (Drewnowski *et al.*, 2015); su huella de carbono es de baja a moderada en comparación con muchos otros alimentos, este criterio indica que la producción de yogur es compatible con un adecuado desarrollo sostenible (Tremblay & Panahi, 2017).

Dentro del grupo de alimentos de productos lácteos, el yogur es una de las formas más comunes de leche fermentada y el alimento que contiene probióticos más consumido en todo el mundo (Cais-Sokolińska & Walkowiak-Tomczak, 2021), es un alimento denso en nutrientes con alta digestibilidad, biodisponibilidad de nutrientes y contiene bacterias del ácido láctico, que pueden afectar la microbiota intestinal. Es una mezcla compleja de proteínas (proteína de suero y caseína en la proporción 20-80), grasas (ácidos grasos saturados, monoinsaturados y poliinsaturados) y carbohidratos (lactosa), que aportan nutrientes de alta calidad, que tienen una amplia gama de bioactividades (Panahi *et al.*, 2017).

El yogur se diferencia de otros productos lácteos frescos comunes, ya que es un subproducto de la fermentación de la leche y contiene bacterias vivas y activas. Aunque la leche y el yogur son similares en su composición

de nutrientes, las diferencias provienen del proceso de fabricación, cambios resultantes de la fermentación durante la fabricación del yogur se pueden resumir como la producción de ácidos, la fermentación de 20 a 30% de lactosa en ácido láctico, la mejora de la digestibilidad de la leche, el aumento de la cantidad de aminoácidos libres y la alteración del contenido de vitaminas (Desobry-Banon *et al.*, 1999).

El yogur es un alimento rico en nutrientes que contiene proteínas de alta calidad y micronutrientes que ya están presentes en la materia prima de la leche, incluidos calcio, potasio, zinc, fósforo, magnesio, vitamina A, riboflavina, vitamina B12, ácido pantoténico (vitamina B5) y algunos países agregan vitamina D. Además de suministrar estos nutrientes, el yogur y otros productos lácteos fermentados aportan otros compuestos beneficiosos que son producidos por la actividad metabólica de la microbiota. Estos incluyen vitaminas B, ácido linoleico conjugado, péptidos bioactivos y ácido c-aminobutírico, entre otros (Donovan & Hutkins, 2018).

7.3.2 *Beneficios a la salud*

A lo largo de los milenios, el consumo de yogur se ha asociado con la longevidad y la salud, y estudios clínicos y epidemiológicos recientes han proporcionado evidencia que vincula el consumo de yogur con una variedad de beneficios sistémicos (Donovan & Hutkins, 2018; Kok & Hutkins, 2018; Panahi *et al.*, 2017).

Se han destacado otros beneficios en la salud dental y ósea, la hipertensión y las enfermedades hepáticas. La mayoría de estos beneficios para la salud están relacionados con las bacterias del ácido láctico en el yogur, pero dado que es poco probable que todas estas propiedades deseables se encuentren en las mismas cepas, se necesita más investigación para seleccionar las mejores cepas adaptadas a objetivos de salud específicos. Además, estas cepas deben poder sobrevivir al proceso de fabricación y mantener su actividad durante el almacenamiento (Desobry-Banon *et al.*, 1999).

INTOLERANCIA A LA LACTOSA

Varias revisiones sistemáticas han reportado que los microorganismos probióticos, incluidos *S. thermophilus* y *L. delbrueckii subsp bulgaricus*, varían en su capacidad para mejorar la digestión de lactosa y reducir los

síntomas de mala digestión de la misma (Kok & Hutkins, 2018); esto debido a que el vaciado gástrico del yogur es más lento en comparación con la leche (Desobry-Banon *et al.*, 1999; Kok & Hutkins, 2018).

MODULACIÓN DE LA MICROBIOTA INTESTINAL

Se ha demostrado que el consumo de alimentos fermentados, como el yogur y otros productos lácteos cultivados, modifica la composición del microbioma, y se propone que algunos de los beneficios del yogur para la salud del yogur estén mediados por la modulación del microbioma (Donovan & Hutkins, 2018). Durante la terapia con antibióticos orales, a menudo asociada con alteraciones de la microbiota gastrointestinal, el consumo de yogur con *Lactobacillus acidophilus* y *Bifidobacterium longum* pueden reducir significativamente las quejas de los pacientes de efectos secundarios gastrointestinales y sobreinfección por levaduras (Desobry-Banon *et al.*, 1999).

CONTROL DE PESO

Respecto a los estudios sobre obesidad y sobrepeso, los ensayos clínicos a corto plazo del yogur y sus componentes aumentan la saciedad, reducen la ingesta de alimentos y mejoran el control glucémico. Los patrones dietéticos como el mediterráneo y los enfoques dietéticos para detener la hipertensión recomiendan productos lácteos bajos en grasa como el yogur como parte de una dieta saludable, lo que puede conducir a una mejora en una variedad de factores de riesgo de enfermedades metabólicas. Se ha demostrado que los consumidores de yogur tienen mejores perfiles antropométricos, conductas alimentarias, actividad física y parámetros de salud metabólica que pueden ayudar a prevenir un balance energético positivo en comparación con los no consumidores de yogur, pudiendo ser entonces considerado como un marcador de calidad de dieta. Sin embargo, es importante considerar otros factores como la actividad física, el estilo de vida, la cantidad de yogur que se consume y otros componentes dietéticos. Además, para dilucidar mejor los beneficios del yogur, se deben tener en cuenta los patrones dietéticos y la calidad de la dieta que están asociados con el consumo de éste (Panahi *et al.*, 2017).

CÁNCER

Los estudios experimentales sobre cáncer, inducidos en animales, han demostrado que las cepas utilizadas en la producción de yogur pueden ralentizar la evolución de tumores. Las acciones antitumorales del yogur están relacionadas con la estimulación de las funciones inmunitarias del cuerpo, pero también con los efectos beneficiosos sobre la población de la microbiota intestinal. De hecho, las cepas de yogur reducen las actividades enzimáticas fecales que aumentan la tasa de conversión de procarcinógenos en carcinógenos proximales. El yogur puede inhibir el crecimiento del carcinoma intestinal a través del aumento de la actividad de las células B, linfocitos T y macrófagos secretores de IgA (Desobry-Banon *et al.*, 1999). En un estudio de cohorte EPIC-Italia de más de 45,000 adultos, se reportó que el consumo de yogur se asoció con un riesgo reducido de cáncer colorrectal (Kok & Hutkins, 2018).

ESTILO DE VIDA

Se ha sugerido en diversos estudios que los consumidores de yogur tienen un mejor estilo de vida y comportamientos alimentarios que pueden ayudar a prevenir un balance energético positivo y enfermedades metabólicas en comparación con los no consumidores. En un estudio de las familias de Quebec que comparó el perfil de consumidores y no consumidores de yogur en una muestra transversal de hombres y mujeres durante 6 años, se encontró que las consumidoras de yogur reportaron una mejor composición de macronutrientes dietéticos, una media más alta en la realización de actividad física y mejores conductas alimentarias (es decir, menos desinhibición) compatibles con la estabilidad del peso corporal en comparación con los no consumidores cuando se ajusta por edad. Estos resultados complementan otros hallazgos de investigación que demuestran que los consumidores de yogur son más activos físicamente (2 h/semana en promedio) y con un 30% menos de probabilidades de fumar en comparación con los no consumidores (Panahi *et al.*, 2017).

La evidencia epidemiológica parece apoyar la asociación entre el consumo de yogur y una mejor calidad de la dieta, así como su impacto potencial para contrarrestar enfermedades crónicas como la diabetes tipo 2. Sin embargo, se necesita más evidencia de estudios de intervención bien diseñados para aumentar aún más nuestra comprensión de los mecanismos

que subyacen al impacto beneficioso del yogur en la salud y la prevención y el manejo de enfermedades crónicas en adultos (Dumas *et al.*, 2017).

PERSPECTIVAS FUTURAS

El yogur se percibe como un alimento saludable debido a la presencia de cultivos vivos y activos; sin embargo, los edulcorantes artificiales, el azúcar, conservadores y aromatizantes que se utilizan universalmente en la industria alimentaria para mejorar el sabor, el atractivo y la aceptación por parte de los consumidores afectan los atributos benéficos del yogur, por lo que actualmente la industria trabaja para disminuir la cantidad de azúcares en el producto y aumentar la palatabilidad y mantener su funcionalidad óptima. Además, estudios recientes sugieren que la grasa y los productos lácteos enteros pueden conferir beneficios para la salud en comparación con los productos sin grasa o bajos en grasa. La elección de un yogur de leche entera en lugar de un yogur descremado también puede disminuir la necesidad de azúcares añadidos para aumentar la palatabilidad, ya que la grasa del yogur proporciona sabor y aumenta la saciedad. En general, es importante enfatizar que la moderación es un componente clave que contribuye a un patrón dietético saludable y la educación nutricional puede ser uno de los pilares para disminuir el consumo de azúcar agregada (Panahi *et al.*, 2017).

El alto consumo de yogur en todo el mundo ha abierto la oportunidad de diseñar un nuevo concepto de este producto lácteo fermentado como un alimento funcional de gran valor, más del 70% del mercado total de alimentos funcionales se presenta en la producción de yogur y yogur fortificado. El enfoque científico en el campo de los productos lácteos fermentados se ha trasladado progresivamente a la adición de ingredientes con diversas actividades simbióticas o bioactivas para crear yogures con mejores propiedades nutricionales, sensoriales, fisicoquímicas y reológicas en comparación con los productos tradicionales. Varios estudios científicos han descrito la adición de componentes bioactivos en el yogur para crear productos fortificados, incluido el extracto de desecho de manzana encapsulado, infusión de té, extracto de hibisco, extracto de semilla de uva, extractos de hongos, extracto de cáscara de camarón blanco, así como el extracto residual de jugo de zanahoria (Šeregelj *et al.*, 2021).

7.4 Kéfir: origen, proceso de elaboración, composición microbiota y propiedades biológicas

7.4.1 Origen del kéfir

El kéfir es una bebida ancestral, cuyo origen depende del tipo de sustrato que se utilice para su elaboración. De acuerdo con Kurmann *et al* (1992), los primeros reportes sobre el kéfir producido a partir de leche fueron realizados por Kern en 1881, Ward en 1892 y Kleber en 1921, quienes mencionan que esta bebida tiene su origen en el norte del Cáucaso en un área de la actual Rusia, donde los pueblos osetio y karbadino de esta región fueron los primeros en elaborar esta bebida fermentada a partir de leche de cabra. En el caso del kéfir de agua Belfourt en 1887 fue el primero en describir a los gránulos de kéfir proveniente de una bebida conocida como “cerveza de jengibre”, la cual se elaboraba en la península de Crimea, cuyo proceso fue introducido a Inglaterra por los soldados británicos que regresaron de la guerra en esta región en el siglo XVIII. Mas tarde, Horisberger (1969) y Pidoux en 1989, señalaron que había otro origen de los gránulos de kéfir de agua provenientes de las hojas de nopal tunero (*Opuntia*) en México, conocidos como “tibi”, sin embargo, no mencionan si se elaboraba alguna bebida de este tipo en México, tampoco se precisa si fue introducida después a Europa por los españoles, como sucedió con varios cultivos, animales y/o productos originarios de Mesoamérica. Pidoux en 1969 también señaló la producción de una bebida similar en Francia, obtenida a partir de la fermentación del azúcar de diferentes fuentes por gránulos similares a los del kéfir, a los cuales los denominó kéfir de azúcar. Por lo que no es muy preciso el origen del kéfir de agua (Guzel-Seydim *et al.*, 2021).

PROCESO DE ELABORACIÓN

Existen dos tipos de kéfir, los cuales son elaborados de manera industrial o artesanal, “kéfir de leche” y “kéfir de agua”, que difieren en los sustratos usados en la fermentación, dando como resultado diferencias en la microbiota, composición y propiedades de estas bebidas.

7.4.3 Kéfir de leche

El proceso de elaboración de esta bebida es básicamente una fermentación de una fuente de leche de cualquier bovino, lo más común es usar leche de

vaca o de cabra, ya sea pasteurizada o sin pasteurizar, se agrega del 2 al 10 % v/v de gránulos de “kéfir de leche” (cremosos, de color blanco, cuyo tamaño puede alcanzar hasta 2 cm). La fermentación puede durar de 18 a 30 horas y ésta se realiza en un rango de temperaturas de 18-24 °C. Los gránulos de kéfir son recuperados para iniciar un nuevo lote de fermentación (Guzel-Seydim *et al.*, 2021; Lynch *et al.*, 2021).

7.4.4 *Kéfir de agua*

Esta fermentación suele ser más variada que el “kéfir de leche” en cuanto a los sustratos usados, en todos ellos se mezcla agua con azúcar, pero además se puede añadir frutas frescas o secas, y/o vegetales, con o sin especias. Para iniciar la fermentación se agregan de 2 a 10 % v/v de gránulos de “kéfir de agua” (gelatinosos, transparentes un poco grisáceos, cuyo tamaño varía de 0.5 a 5 mm). La fermentación puede durar de 20 a 25 horas y ésta se realiza en un rango de temperaturas de 25-30 °C. Los gránulos de kéfir son recuperados para iniciar un nuevo lote de fermentación (Guzel-Seydim *et al.*, 2021; Lynch *et al.*, 2021).

7.4.5 *Microbiota y composición*

La microbiota encontrada en kéfir de leche y kéfir de agua, dependen en gran medida de los sustratos y condiciones de fermentación usadas, lo cual a su vez tiene un efecto importante en los metabolitos producidos, lo cual impacta en el sabor y propiedades funcionales. Los gránulos de ambas bebidas son consorcios microbianos compuestos de bacterias y levaduras unidos por polisacáridos, cuya composición varía según el tipo de kéfir. A continuación, se describe lo que se ha reportado sobre la microbiota y su efecto en la composición para ambos tipos de kéfir. En el caso del kéfir de leche las bacterias de los géneros *Lactobacillus* y *Lactococcus* son los microorganismos predominantes, siendo las especies más predominantes *Lactococcus*, *Streptococcus*, *Lactococcus lactis* subespecie *lactis*, *Lactobacillus delbrueckii* subespecie *bulgaricus*, *L. helveticus*, *L. casei* subespecie *pseudoplantarum*, *L. skefiri*, *L. kefir*, *L. brevis* y *Streptococcus thermophiles* (Hamida *et al.*, 2021), las cuales producen un oligosacárido de bajo grado de polimerización compuesto por más galactosas que glucosas, éste es el responsable de la textura cremosa de los gránulos, en los cuales de encuentran inmersas en menor cantidad de levaduras *Saccharomyces* y

no-*Saccharomyces* que se encuentran haciendo simbiosis con las bacterias (Guzel-Seydim *et al.*, 2021; Lynch *et al.*, 2021). Estos gránulos están compuestos por agua en un 86 %, el 14 % de la biomasa restante está comprendida por un 58 % de polisacáridos, 30 % de proteína y 7 % de grasa (Guzel-Seydim *et al.*, 2021). El sustrato principal del kéfir de leche es la lactosa presente en la leche, entre los metabolitos encontrados en kéfir de leche se encuentran acetaldehído, acetona, acetato de etilo, 2-butanona, diacetilo, etanol, acetoína, ácido orótico, ácido cítrico, ácido piruvico, ácido láctico, ácido úrico, ácido acético, ácido propiónico, ácido butírico, ácido hipúrico y CO₂, además de varios esteres volátiles, los cuales confieren el sabor característico del kéfir de leche (Guzel-Seydim *et al.*, 2021).

Para el kefir de agua, la microbiota está compuesta principalmente por bacterias ácido-lácticas (*Lactobacillus*), levaduras como *Saccharomyces* y *Zygotoruspora*, y en menor medida bacterias acéticas (*Acetobacter* y *Gluconobacter*), embebidas de manera simbiótica dentro de una matriz de polisacáridos α -glucanos, conformando los gránulos gelatinosos de color transparente-grisáceo. El principal sustrato o fuente de carbono del kéfir de agua es sacarosa y los consorcios simbióticos de esta fermentación producen ácidos orgánicos similares a los de kéfir de leche originados por las bacterias ácido-lácticas. Sin embargo, en el kéfir de agua se produce un mayor contenido de etanol, CO₂ y ácido acético, además de compuestos volátiles provenientes de las frutas o vegetales añadidos al inicio de la fermentación, que además constituyen una fuente de compuestos bioactivos como es el caso de los antioxidantes, en particular cuando se usan frutos rojos, es decir que el kéfir de agua tiene mucho mayor variedad en cuanto al perfil sensorial producido (Guzel-Seydim *et al.*, 2021; Lynch *et al.*, 2021).

7.4.6 Propiedades biológicas

Se han realizado diferentes estudios sobre las propiedades biológicas del kéfir, la mayoría se han hecho sobre kéfir de leche (Guzel-Seydim *et al.*, 2021). Los efectos benéficos a la salud del kéfir dependen de la composición de la microbiota y de compuestos bioactivos como compuestos volátiles y péptidos (Metras *et al.*, 2021; Wang *et al.*, 2021), pero sobre todo de que estén viables al momento de consumirse, según un estudio realizado en varios kéfir comerciales, el 66 % de los productos evaluados no contenían un número suficiente de probióticos activos (1 log de UFC por debajo de

1×10^9), algunos de hecho no se lograban detectar, por lo que la viabilidad de los probióticos en los productos comerciales que los contienen debe ser considerado por las instancias que los regulan (Metras *et al.*, 2021). Otro factor que debe ser tomado en cuenta sobre todo en los kéfir artesanales de leche, es de las buenas prácticas de manufactura, ya que éstas inciden en la proliferación de microorganismos patógenos como *Staphylococcus aureus* que incrementan los niveles de las enterotoxinas (Angelidis *et al.*, 2020). En el caso del kéfir de agua, se ha convertido en una opción para las personas intolerantes a la lactosa, cuyos efectos benéficos a la salud se han potenciado mediante la adición de ingredientes funcionales como inulina o espirulina (Alves *et al.*, 2021; Sözeri Atik *et al.*, 2021). En la tabla 7.2, se presentan cuáles han sido las principales propiedades encontradas en diferentes tipos y estudios de kéfir.

Tabla 7.2. Principales propiedades benéficas a la salud encontradas en kéfir.

Tipo de kéfir	Propiedades	Referencia
kéfir de leche	Anticancerígeno, anticarcinómico, activa el sistema inmune, efecto hepatoprotector, disminuye colesterol, reduce azúcar en sangre, efecto antimicrobiano, modifica sistema gastrointestinal, actividad inhibitoria ACE, mejora la presión sanguínea, mejora la cicatrización, tiene efecto antiinflamatorio, antioxidante, anti alergénico, gastroprotector, mejora el perfil de lípidos en sangre, incrementan densidad ósea y tienen efecto antifatiga.	(Guzel-Seydim <i>et al.</i> , 2021)
kéfir de leche	Efecto anti-cancer colorectal	(Kim <i>et al.</i> , 2021)
kéfir de leche	Efecto anti-viral contra Zika, Hepatitis C, Influenza, Rotavirus y posiblemente anti-COVID19	(Hamida <i>et al.</i> , 2021)
kéfir de leche	Controla y contrarresta infecciones enterobacterianas	(Gut <i>et al.</i> , 2021)
kéfir de agua	Anticancerígeno, anticarcinómico, efecto hepatoprotector, disminuye colesterol, reduce azúcar en sangre, efecto antimicrobiano, modifica sistema gastrointestinal, actividad inhibitoria ACE, mejora la cicatrización, tiene efecto antiinflamatorio, antioxidante, gastroprotector.	(Guzel-Seydim <i>et al.</i> , 2021)

7.4.7 Kéfir en México

En México se comercializa kéfir por las empresas Lifeway y Sello Rojo elaborado con base en leche, el cual se caracteriza por no tener levaduras en su proceso y por lo tanto no se genera alcohol, ya que su generación no

permite su envase comercial. Sin embargo, el volumen de producción y consumo no se compara por ejemplo contra el yogur, el producto fermentado lácteo más producido y consumido en el país.

7.5 El jocoque, un lácteo fermentado muy tradicional

7.5.1 ¿Qué es el jocoque?

El jocoque es un producto lácteo tradicional consumido en México, su nombre tiene origen en el náhuatl “xococ” que significa agrio (López-Ramírez & Chombo-Morales, 2019). La 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, define a la leche fermentada como la obtenida por la acidificación de la leche estandarizada, entera o deshidratada, pasteurizada, parcialmente descremada, semidescremada o descremada, debido a la acción de bacterias lácticas vivas con la consiguiente reducción del pH, adicionada o no con aditivos, por alimentos e ingredientes opcionales. Dentro de las leches fermentadas podemos clasificar al jocoque.

El jocoque, es entonces un alimento lácteo fermentado que se obtiene de la fermentación artesanal de la leche de vaca cruda para obtener un producto con una consistencia cremosa y homogénea, sabor ácido/agrio y aromas característicos de la fermentación de sus compuestos. Nutricionalmente hablando, el jocoque tiene bajo contenido de lactosa (4 %), grasa y carbohidratos, es rico en proteínas, calcio, fibra y vitaminas del grupo B. Entre los microorganismos encontrados e identificados en jocoque se encuentra *Lactococcus lactis* y *Kluyveromyces lactis* principalmente, además de *Lactococcus taiwanensis*, *Kluyveronices lactis*, *Candida Sp1* y *Pichia fermentants* (López Ramírez *et al.*, 2019), mientras que en el jocoque producido en Durango, Mx., se reporta presencia de *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* (García-Caballero *et al.*, 2018).

Se cree que el jocoque fue introducido a las culturas nativas de México con la llegada de los españoles, esto tiene sentido ya que la comida española está influenciada por la comida árabe. Los árabes dejan fermentar la leche fresca a temperatura ambiente en un recipiente cerrado durante unos días para obtener un producto lácteo fermentado con el que acompañan muchos de sus alimentos. En México, la elaboración tradicional y artesanal se realiza

en ollas de barro con leche fresca en un periodo de 3-5 días y en algunas regiones hasta 7 días (Sepulveda & Esparza-Chavez, 2016), posteriormente se agita y adiciona sal o azúcar y se deja fermentar un día más para que el jocoque tome una consistencia cremosa y menos líquida con respecto al lácteo fermentado árabe. Se sabe que el jocoque mexicano tiene una acidez entre 0.7 y 0.9 % y un pH cerca de 4.5, sin embargo, el jocoque de cada estado de la República Mexicana (Sinaloa, Nayarit, Durango, Colima, Jalisco...) tiene sus propias características distintivas (Tejeda, 2014).

7.5.2 *Beneficios del consumo de jocoque y su potencial*

El jocoque es un alimento bajo en grasa y lactosa, rico en proteínas, vitaminas y minerales, pero particularmente tiene bacterias ácido-lácticas que le confieren características de ser un alimento probiótico. El jocoque es un alimento que se conoce poco en algunos estados del país, es de gran importancia para la soberanía nacional preservar y revalorizar sus sabores, aromas y texturas únicas de productos tradicionales que son parte de nuestra herencia cultural (García-Caballero *et al.*, 2018).

7.6 Conclusiones

La salud intestinal, además de estar influenciada por una alimentación balanceada, la ingesta de alimentos fermentados favorece la diversidad de microorganismos en la población microbiana gastrointestinal. En este capítulo se presentaron alimentos derivados de la leche obtenidos por fermentación y que su consumo entonces contribuye a una buena salud intestinal, caracterizada por la gran diversidad de la microbiota que conforma su propio ecosistema.

En la actualidad, tenemos disponibilidad de diversos alimentos obtenidos por acción microbiana, tanto innovados como ancestrales, tales como el yogur, el kéfir, el jocoque y otros. Los revisados aquí son ejemplos de lácteos fermentados a los que se les puede atribuir beneficios a la salud, por su composición microbiana que es acorde a la definición de microorganismo probióticos que la FAO/OMS definió en 2001, llamándolos así a aquellos “microorganismos vivos que, cuando se administran en cantidades apropiadas como parte de un alimento, confieren al huésped un beneficio para la salud. La mayoría de las bacterias ácido lácticas han

sido asociadas a la definición de microorganismos probióticos, más otros microorganismos como las levaduras que también pueden ejercer este papel.

7.7 Bibliografía

- Alessandri, G., Rizzo, S. M., Ossiprandi, M. C., van Sinderen, D., & Ventura, M. (2022). Creating an atlas to visualize the biodiversity of the mammalian gut microbiota. *Current Opinion in Biotechnology*, 73, 28–33. <https://doi.org/10.1016/J.COPBIO.2021.06.028>
- Álvarez, J., Fernández Real, J. M., Guarner, F., Gueimonde, M., Rodríguez, J. M., Saenz de Pipaon, M., & Sanz, Y. (2021). *Microbiota intestinal y salud. Gastroenterología y Hepatología*, 44(7), 519–535. <https://doi.org/10.1016/J.GASTROHEP.2021.01.009>
- Alves, V., Scapini, T., Camargo, A. F., Bonatto, C., Stefanski, F. S., Pompeu de Jesus, E., Techi Diniz, L. G., Bertan, L. C., Maldonado, R. R., & Treichel, H. (2021). *Development of fermented beverage with water kefir in water-soluble coconut extract (Cocos nucifera L.) with inulin addition. LWT*, 145. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111364>
- Angelidis, A. S., Kalamaki, M. S., Pexara, A. S., & Papageorgiou, D. (2020). *Investigation of Staphylococcus aureus growth and enterotoxin production during artisanal kefir fermentation. LWT*, 134. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109956>
- Cais-Sokolińska, D., & Walkowiak-Tomczak, D. (2021). Consumer-perception, nutritional, and functional studies of a yogur with restructured elderberry juice. *Journal of Dairy Science*, 104(2), 1318–1335. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18770>
- Desobry-Banon, S., Vetier, N., & Hardy, J. (1999). Health benefits of yogur consumption. A review. *International Journal of Food Properties*, 2(1), 1–12. <https://doi.org/10.1080/10942919909524585>
- Donovan, S. M., & Hutkins, R. (2018). Introduction to the fifth global summit on the health effects of yogurt. *Nutrition Reviews*, 76, 1–3. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuy054>
- Drewnowski, A., Rehm, C. D., Martin, A., Verger, E. O., Voinnesson, M., & Imbert, P. (2015). Energy and nutrient density of foods in relation to their carbon footprint. *American Journal of Clinical Nutrition*, 101(1), 184–191. <https://doi.org/10.3945/ajcn.114.092486>

- Dumas, A. A., Lapointe, A., Dugrenier, M., Provencher, V., Lamarche, B., & Desroches, S. (2017). A systematic review of the effect of yogurt consumption on chronic diseases risk markers in adults. *European Journal of Nutrition*, 56(4), 1375–1392. <https://doi.org/10.1007/s00394-016-1341-7>
- Fernandez, M. A., Picard-Deland, Le Barz, M., Daniel, N., & Marette, A. (2017). Yogurt and Health. En *Fermented Foods in Health and Disease Prevention*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802309-9.00013-3>
- García-Burgos, M., Moreno-Fernández, J., Alférez, M. J. M., Díaz-Castro, J., & López-Aliaga, I. (2020). New perspectives in fermented dairy products and their health relevance. *Journal of Functional Foods*, 72, 104059. <https://doi.org/10.1016/J.JFF.2020.104059>
- García-Caballero, B. E., Muñoz-Ríos, R., Pensaben, M., Villareal-Carrera, M. L., Reyes-Vázquez, Z. C., González-Herrera, S. M., Rodríguez-Herrera, R., & Rutiaga-Quiñones, O. M. (2018). Jocoque: un alimento lácteo fermentado tradicional con potencial funcional. *Agroproductividad*, 11(7), 107–111.
- Gut, A. M., Vasiljevic, T., Yeager, T., & Donkor, O. N. (2021). Kefir characteristics and antibacterial properties - Potential applications in control of enteric bacterial infection. En *International Dairy Journal* (Vol. 118). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105021>
- Guzel-Seydim, Z. B., Gökırmaklı, Ç., & Greene, A. K. (2021). A comparison of milk kefir and water kefir: Physical, chemical, microbiological and functional properties. En *Trends in Food Science and Technology* (Vol. 113, pp. 42–53). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.04.041>
- Hamida, R. S., Shami, A., Ali, M. A., Almohawes, Z. N., Mohammed, A. E., & Bin-Meferij, M. M. (2021). Kefir: A protective dietary supplementation against viral infection. En *Biomedicine and Pharmacotherapy* (Vol. 133). Elsevier Masson s.r.l. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.110974>
- Khorshidian, N., Yousefi, M., & Mortazavian, A. M. (2020). Fermented milk: The most popular probiotic food carrier. *Advances in Food and Nutrition Research*, 94, 91–114. <https://doi.org/10.1016/BS.AFNR.2020.06.007>

- Kim, D. H., Jeong, C. H., Cheng, W. N., Kwon, H. C., Kim, D. H., Seo, K. H., Choi, Y., & Han, S. G. (2021). Effects of kefir on doxorubicin-induced multidrug resistance in human colorectal cancer cells. *Journal of Functional Foods*, 78. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104371>
- Kok, C. R., & Hutkins, R. (2018). Yogurt and other fermented foods as sources of health-promoting bacteria. *Nutrition Reviews*, 76, 4–15. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuy056>
- López Ramírez, J. E., Orozco Ávila, I., Estarrón Espinosa, M., & Chombo Morales P. (2019). Identificación por PCR-DGGE de BAL nativas dominantes del jocoque tradicional y su calidad e inocuidad. *Avances de Investigación en Inocuidad de Alimentos*, 2, 1–4. <http://www.e-gnosis.udg.mx/index.php/trabajosinocuidad>
- López-Ramírez, J. E., & Chombo-Morales, P. (2019). *Jocoque como fuente de probióticos*. CIENCIATEJ. <https://www.ciatej.mx/el-ciatej/comunicacion/Noticias/Jocoque-como-fuente-de-probioticos/134>
- Lynch, K. M., Wilkinson, S., Daenen, L., & Arendt, E. K. (2021). An update on water kefir: Microbiology, composition and production. En *International Journal of Food Microbiology* (Vol. 345). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2021.109128>
- Metras, B. N., Holle, M. J., Parker, V. J., Miller, M. J., & Swanson, K. S. (2021). *Commercial kefir products assessed for label accuracy of microbial composition and density*. <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>
- Panahi, S., Fernandez, M. A., Marette, A., & Tremblay, A. (2017). Yogurt, diet quality and lifestyle factors. *European Journal of Clinical Nutrition*, 71(5), 573–579. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2016.214>
- Pushpanathan, P., Mathew, G., Selvarajan, S., Seshadri, K., & Srikanth, P. (2019). Gut Microbiota and Its Mysteries. *Indian Journal of Medical Microbiology*, 37(2), 268–277. https://doi.org/10.4103/IJMM.IJMM_19_373
- Sepulveda, D. R., & Esparza-Chavez, A. (2016). Safety of Fermented Dairy Products. *Regulating Safety of Traditional and Ethnic Foods*, 187–204. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800605-4.00010-4>
- Šeregelj, V., Pezo, L., Šovljanski, O., Lević, S., Nedović, V., Markov, S., Tomić, A., Čanadanović-Brunet, J., Vulić, J., Šaponjac, V. T., &

- Ćetković, G. (2021). *New concept of fortified yogurt formulation with encapsulated carrot waste extract*. *Lwt*, 138, 110732. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110732>
- Sözeri Atik, D., Gürbüz, B., Bölük, E., & Palabıyık, İ. (2021). Development of vegan kefir fortified with *Spirulina platensis*. *Food Bioscience*, 42. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101050>
- Stephens, R. W., Arhire, L., & Covasa, M. (2018). Gut Microbiota: From Microorganisms to Metabolic Organ Influencing Obesity. En *Obesity* (Vol. 26, Issue 5). <https://doi.org/10.1002/oby.22179>
- Tap, J., Ruppé, E., & Derrien, M. (2021). The Human Gut Microbiota in all its States: From Disturbance to Resilience. *Reference Module in Food Science*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819265-8.00039-5>
- Tejeda, G. (2014, August 25). El jocoque, ¿Mexicano o árabe? *Directo al paladar*. <https://www.directoalpaladar.com.mx/ingredientes-y-alimentos/el-jocoque-mexicano-o-arabe>
- Tremblay, A., & Panahi, S. (2017). Yogurt consumption as a signature of a healthy diet and lifestyle. *Journal of Nutrition*, 147(7), 1476S-1480S. <https://doi.org/10.3945/jn.116.245522>
- Volokh, O., Klimenko, N., Berezhnaya, Y., Tyakht, A., Nesterova, P., Popenko, A., & Alexeev, D. (2019). Human gut microbiome response induced by fermented dairy product intake in healthy volunteers. *Nutrients*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/nu11030547>
- Wang, H., Sun, X., Song, X., & Guo, M. (2021). Effects of kefir grains from different origins on proteolysis and volatile profile of goat milk kefir. *Food Chemistry*, 339. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128099>

Capítulo 8

Propiedades funcionales de la leche y de los derivados lácteos

Quiñones-Muñoz, Tannia A.^{1}*

Gastelum-Martínez, Elida²

Pintor-Jardines, María A.³

Free Manjarrez-Jessica S.⁴

Morales-Hernández, Norma⁴

8.1 Introducción

La leche es el fluido segregado por las glándulas mamarias de hembras mamíferas para alimentar a sus crías, es de composición compleja y única. Su composición incluye agua, lípidos, proteínas, carbohidratos, minerales y otras sustancias hidro y liposolubles. La mayoría de las grasas se presentan en forma de glóbulos, y las proteínas están en forma de agregados denominados micelas. Además de las caseínas, la leche presenta proteínas en el suero, que han demostrado importantes actividades bioactivas. El término “propiedad funcional” tiene un rango amplio de significados y puede incluir dos líneas de acción. En la primera, el término “propiedades tecnológicas” (o tecno-funcionales) implica que el componente de interés presente, en una concentración óptima, bajo parámetros óptimos de procesamiento, contribuye a características fisicoquímicas, identificadas

¹ Unidad de Tecnología Alimentaria, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología-Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CONACYT-CIATEJ). Av. Normalistas 800, Colinas de La Normal, C.P. 44270, Guadalajara, Jalisco, México. taquinones@ciatej.mx . * Corresponding author.

² Tecnología Alimentaria, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ). Km. 5.5 carretera Sierra Papacal-Chuburná, C.P. 97302, Chuburná, Yuc. egastelum@ciatej.mx

³ Departamento de Biotecnología, Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa. Av. San Rafael Atlixco 186, C.P. 09340, Ciudad de México, México. lola_pja@hotmail.com

⁴ Tecnología Alimentaria, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ). Camino Arenero 1227, El Bajío, C.P. 45019, Zapopan, Jalisco, México. nmorales@ciatej.mx

entre otras, por las propiedades sensoriales deseadas del producto, como espesado, gelificado, emulsionado, estabilizante, anticongelante, colorante, edulcorante, e hidratante. El término “funcional”, en una segunda línea de acción, hace referencia a beneficios a la salud de un alimento o compuesto, debido a su consumo con cierta periodicidad y concentración. De este modo se involucra el término “alimento funcional” que son alimentos naturales o procesados que contienen sustancias biológicamente activas, además de los compuestos nutritivos (Rincón-León, 2003), de una manera relevante para un mejor estado de salud y bienestar y/o reducción del riesgo de enfermedades. Dentro de las diversas clasificaciones reportadas para alimentos funcionales (ILSI, 1999; Rincón-León, 2003), la participación de la leche y sus derivados, principalmente se considera en el grupo de probióticos (Banerjee & Ray, 2019), o por el impacto de sus componentes bioactivos, aminoácidos, péptidos, proteínas, y/o bacterias ácido-lácticas (Rincón-León, 2003).

Las propiedades oxido-reductoras, de importancia biológica, se han detectado en leche y dependen, principalmente, del oxígeno disuelto, del sistema reductor natural (xantina oxidasa o reductasa aldehídica), la temperatura y los diversos componentes presentes (Alais, 1985). El tratamiento térmico a 120°C se ha asociado a un incremento pronunciado de la actividad antioxidante de la leche (cerca de las condiciones de un proceso UHT) siendo en las etapas avanzadas la formación de productos de la reacción de Maillard (reacción rápida a 120 °C, y reacción lenta a 1.5 y 2 h de calentamiento a 80 °C y 90 °C), como las melanoidinas, compuestos antioxidantes ya bien documentados (Calligaris *et al.*, 2004; Zhang *et al.*, 2019), además, algunos de los productos de la reacción pueden retardar la oxidación lipídica (Ames, 2003), lo que tiene diversas aplicaciones en alimentos. Se ha reportado que los productos de la reacción de Maillard (MRP) de aislado de proteína de suero (WPI) y diferentes azúcares (glucosa, fructosa, xilosa, sacarosa, lactosa y maltosa) producidos al calentar la mezcla en horno a 50 °C/7 d mostraron mejor poder reductor y la capacidad barredora del radical hidroxilo. Así mismo, los conjugados WPI-glucosa presentan mayor actividad antioxidante que WPI; la actividad barredora (de MRP) demuestra una relación lineal con el tiempo de reacción (Zhang *et al.*, 2019). Los principales componentes de leche son, según la NOM-155-SCFI-2012, grasa butírica, sólidos no grasos, lactosa, y proteínas (caseína).

Las principales fracciones de compuestos que brindan, según su propia naturaleza química, las propiedades funcionales que sobresalen de la leche y sus derivados, incluyendo al suero lácteo se resumen en: humedad 87%, sólidos totales de 13% que incluye minerales 0.8%, grasa 3.9%, lactosa 4.8%, proteínas 3.4% (caseínas 79.5%), proteínas del suero 19.3% (α -lactoalbúmina, β -lactoglobulina, seroalbúmina, inmunoglobulinas, proteínas de membrana) (Bylund, 1995; de Castro *et al.*, 2017).

De esta manera, en este capítulo se presentan diversos beneficios funcionales que la leche, sus componentes y derivados, proveen tanto a la salud del consumidor, como al desarrollo de características de calidad de productos alimenticios, incluso de alimentos no lácteos. Se presenta una revisión importante de productos lácteos comercialmente disponibles y que son parte de la innovación en el área láctea y de aditivos “clásicos” como fibra y proteína, hasta suplementos de fuentes diferentes (DHA omega-3, grasas para dieta keto, aloe vera, colágeno, especias y probióticos). Se presentan, además, dos ejemplos prácticos de derivados lácteos en los que se visualizan algunas propiedades funcionales. Un primer ejemplo práctico de alimentos lácteos funcionales es sobre el desarrollo de un helado y el papel que tienen sus ingredientes y las propiedades funcionales involucradas en las etapas del proceso de elaboración (Clarke Chris, 2004; Marshall *et al.*, 2003). El segundo ejemplo práctico (proyecto CIATEJ) es sobre un yogurt tipo griego formulado con hidrolizados encapsulados de proteína de frijol.

8.2 Propiedades bioactivas de leche y sus derivados

Las propiedades bioactivas detectadas en compuestos lácteos son variadas y amplias en los últimos años. Un resumen se presenta en la tabla 8.1, en donde se presenta la función bioactiva detectada y el o los compuestos responsables.

Tabla 8.1. Propiedades bioactivas de compuestos derivados lácteos.

Producto (s)	Función (es)	Compuesto (s)	Referencias
Leche y suero.	Antihipertensiva	Casoquininas (α_{s1} -, β -, y κ -caseína, de caseína). Lactoquininas (α -lactalbúmina, β -lactoglobulina y albúmina de suero).	(FitzGerald & Meisel, 2000)

Leche.	Antimicrobiana, antihipertensiva, inmunomodulador, opioide.	Caseinofosfopéptidos (QMEAES*IS*S*S*EEIVPNS*VEQK, LLY). Caseidina, casocidina-I, isracidina, α_{s1} -Casokinin-5 (FFVAP), β -Casokinin-7 (AVPYPQR). Lactoferricina-B (FKCRRWQWRMK KLGAPSITCVRRAF). Lactoferina. α -lactorfina (YGLF), β -lactorfina (ALPMHIR). Otros.	(Clare & Swaisgood, 2000)
Leche y suero.	Inmunoreguladora	α_{s1} -caseína y péptidos, isracidina y péptidos, β -caseína y péptidos, β -casomorfinina y péptido, k-caseína k-caseinoglicopéptidos, para-k-caseína, α -lactalbúmina, β -lactoglobulina, lactoferrina, glicofosfopéptido.	(Gill <i>et al.</i> , 2000)
Leche.	Antioxidante (quelante), citomoduladora (antiproliferación, inmunomodulación), antiinflamatoria, opioide, antiimicrobiana.	Caseinofosfopéptidos (diversas secuencias), β -casomorfinina-7 (YFPFGPI), α -caseína exorfina (RYLGYLE), β -casokinina (AVPYPQR), α_{s1} -immunocasokinina (TTMPLW), caseinoimmunopéptido (PGPIP, LLY), lactoimmunopéptido (YGG), lactoferricina (FKCRRWQWRMKKLGAPSITCVRRAF).	(Meisel & FitzGerald, 2003)
Productos lácteos fermentados (de leche y suero).	Antihipertensiva, antioxidante (quelante), inmunomoduladora, citomoduladora, antitrombótica, antiimicrobiana.	α_{s1} - (isracidina) y α_{s2} -caseína (bovina), β -caseína (bovina, humana), α -lactalbúmina, β -lactoglobulina, lactoferrina, polipéptido rico en prolina, tetrapéptido tuftsina (IgG región Fc).	(Hayes <i>et al.</i> , 2007)
Leche y productos derivados.	Antihipertensiva	Péptidos (Ile-Pro-Pro, Val-Pro-Pro, Tyr-Pro).	(Jäkälä & Vapaatalo, 2010)
Suero de leche y fermentados.	Inmunomodulación.	β -lactoglobulina (β -LG), α -lactoalbúmina (α -LA), glicomacropéptido (GMP). Bacterias ácido-lácticas (BAL).	(Hong <i>et al.</i> , 2009; Huang <i>et al.</i> , 2010)
Leche y suero.	Inmunoregulación, antimicrobiana, fortalecimiento de salud intestinal, antihipertensiva, antiinflamatoria, antiviral, anticancerígena.	Caseína y caseinofosfopéptidos. Lactoferina (bovina, humana). Lactoferricina (bovina y humana; secuencia FKCRRWQWRW). Complejo lactoferrampina-lactoferricina. α_{s1} -casomorfinina, α_{s1} -caseína bovina, α -lactalbúmina bovina, β -caseína bovina (β -casomorfinina-7, β -casokinina-10, péptidos (HLPLP y WSPQPK)). β -lactoglobulina bovina, albúmina de suero.	(Sun & Jenssen, 2012)

Leche.	Antihipertensiva. Antioxidante.	Péptidos (Val-Pro-Pro, Ile-Pro-Pro, RYLGY, AYFYPEL).	(Marques <i>et al.</i> , 2012)
Leche y suero.	Inmunomodulación, antimicrobiano, antiviral.	Inhibidor de la proteasa leucocitaria secretora, mucinas de leche purificada, angiogenina, tenascina-C, lactoferina (bovina, humana), β -lactoglobulina modificada, α_{s2} -caseína, β -caseína, k-caseína, α -lactalbumina, lisosima humana 9, glicolactina, angiogenina-I, lactoferricina humana.	(Ng <i>et al.</i> , 2015)
Leche y suero.	Antimicrobiana	Péptidos de caseína: caseinomacropéptidos glicosilados, capacina, k-caseicina, caseicina A, caseicina B, fragmentos catiónicos de α_{s2} -caseína, isracidina. Lactoferina, lactoferricina, lactoferrampina, β -lactoglobulina, β -defensina-2 (hBD-2).	(Mohanty <i>et al.</i> , 2016)
Suero de leche.	Antiinflamatoria	28 péptidos en hidrolizado nativo, 39 en el tratado térmicamente, a partir de albumina de suero y tripsina. Péptidos sobresalientes: TPVSEK y YLYEIAR.	(Arrutia <i>et al.</i> , 2016)
Leche y derivados.	Anticancerígena	Retinoides, calcio, vitamina D.	(Martinez Leo <i>et al.</i> , 2018)
Leche, suero y productos derivados.	Prevención de síndrome metabólico (antihipertensiva, control de ingesta, antioxidante), opioide, antiinflamatorio, inmunomodulador, antimicrobiano, anticarcinogénico.	Caseinopéptidos. Lactoferina. Péptidos (Tyr-Pro, Lys-Val-Leu-Pro-Val-Pro-Gln, Val-Pro-Pro, Ile-Pro-Pro).	(Chauhan & Kanwar, 2020)
Suero de calostro y suero de leche.	Promotor y modulador de microbiota intestinal.	Inmunoglobulinas (IgG), α -lactalbúmina, β -lactoglobulina.	(Hickey <i>et al.</i> , 2020)
Leche y suero de leche.	Prevención de pérdida de masa y/o fuerza muscular.	Caseína, lactoproteína hidrolizada (al menos 5% GH).	(Smulders <i>et al.</i> , 2020)
Suero de leche.	Prevención de infección intestinal (enterocolitis necrotizante) o inflamación infantil.	Proteína nativa de suero (dipéptido cíclico): >78% α -lactalbúmina nativa, >85% β -lactoglobulina nativa.	(Renes <i>et al.</i> , 2020c)

Suero de leche.	Antimicrobiano, antiinflamatorio, promotor de maduración intestinal infantil.	Proteína nativa de suero (dipéptido cíclico): >78% α -lactalbúmina nativa, >85% β -lactoglobulina nativa.	(Renes <i>et al.</i> , 2020a, 2020b)
Producto lácteo.	Promotor de crecimiento de probióticos (Bifidobacterias), antibacteriana, inmunomoduladora y regulación de apetito.	Glicomacropéptido de β -caseína (f106-169 por quimosina). Una bacteria bifidobacterium (Bifidobacterium breve y/o Bifidobacterium infantis).	(Wada & Ehara, 2021)
Leche.	Suplemento alimenticio (colonizador/promotor de microbiota, antibacterial de patógenas).	Proteínas biofuncionales (ej. enzimas: proteasa, lipasa, amilasa, lisozima o endo-b-N-acetilglucosaminidasa (EndoBI-1)), proteínas (ej. lactoferrina), carbohidratos (ej. oligosacárido de leche), y/o una cepa de Bifidobacterium.	(Frese <i>et al.</i> , 2021)

Una de las bioactividades más notables de compuestos derivados lácteos es la antihipertensiva. La hipertensión se define como un incremento sostenido de la presión arterial (BP) y es un factor de riesgo en el desarrollo de diversas enfermedades cardiovasculares (Hayes *et al.*, 2007). La actividad antihipertensiva en queso se ha asociado a la presencia de péptidos de bajo peso molecular (determinación de la capacidad inhibitoria de la enzima convertidora de angiotensina I, ECA), y altos grados de proteólisis. Las secuencias peptídicas con mejores actividades inhibitorias ACE son VAP (valina-alanina-prolina) de α_{s1} -caseína con 2 μ Mol/L, IPP (isoleucina-prolina-prolina) y KVLVPVP (lisina-valina-leucina-prolina-valina-prolina) de β -caseína con 5 μ Mol/L, IPP de k-caseína con 5 μ Mol/L, y ALKAWSVAR de albumina de suero con 3 μ Mol/L (referencia captopril tiene IC_{50} =0.006 μ Mol/L). El consumo con efectos antihipertensivos se reporta ser de 10 g de un hidrolizado con tripsina de caseína por 4 semanas o ingestión diaria de 95 ml de leche fermentada Calpis (*L. helveticus* y *Saccharomyces cerevisiae*). La leche fermentada Calpis presenta péptidos antihipertensivos como Val-Pro-Pro (β -casein f(84-86) y Ile-Pro-Pro (β -casein f(74-76)) (FitzGerald & Meisel, 2000). El potencial antihipertensivo depende de la capacidad de los péptidos para alcanzar el sitio de reacción/contacto sin degradarse

o inactivados por la acción de las enzimas intestinales o plasmáticas. Los péptidos lácticos VPP (valina-prolina-prolina) e IPP (isoleucina-prolina-prolina) obtenidos de la leche agria son dos péptidos antihipertensivos demostrados en estudios previos (Marques *et al.*, 2012).

Otra actividad benéfica la presentan los caseinofosfopéptidos (CPP) que pueden funcionar como portadores de diferentes minerales, especialmente calcio, formando complejos solubles con fosfato de calcio *in vitro*, lo que conduce a una absorción de calcio mejorada al limitar la precipitación de calcio en el íleon distal (Meisel & FitzGerald, 2003). Los caseinofosfopéptidos han mostrado también efectos benéficos en el sistema inmune incluyendo efectos mitogénicos y aumentando el efecto de inmunoglobulinas (IgA) en cultivos de células de bazo de ratón, además, aumentan la actividad fagocítica de macrófagos en ratón y humanos e incrementan la resistencia contra ciertas bacterias en ratón (Sun & Jenssen, 2012). La leche es la fuente más común y eficiente de péptidos con propiedades inmunomoduladoras, que desencadenan respuestas inmunes tanto específicas como no específicas (Chauhan & Kanwar, 2020). Los péptidos, hidrolizados y productos de fermentación (BAL) derivados de las proteínas de la leche mejoran la proliferación de linfocitos, las funciones de las células inmunes, la regulación de las citocinas y la síntesis de anticuerpos (Gill *et al.*, 2000; Meisel & FitzGerald, 2003).

La actividad antimicrobiana contra patógenos gram-positivos y gram-negativos, incluyendo virus y hongos, se apoya con la presencia de residuos de arginina y triptófano, como en la lactoferina, que facilita la interacción de esos residuos cargados positivamente con las cargas negativas presentes en el centro interno de los lipopolisacáridos (microbios) para desorganizar la estructura de la membrana externa, y de ese modo promover su destrucción (Mohanty *et al.*, 2016). De este modo, las proteínas y sus péptidos, además de sus combinaciones con otras moléculas similares o compuestos diversos, son promesas importantes en el desarrollo de compuestos antihipertensivos, antimicrobianos y anticancerígenos potentes. Así mismo, dichas moléculas pueden tener potencial terapéutico con diferentes presentaciones, y actuar como inmunosupresores para enfermedades del sistema inmune y en tratamiento de alergias.

8.3 Propiedades tecno-funcionales de leche y sus derivados

Las propiedades tecno-funcionales de lácteos se atribuyen principalmente a su contenido en proteínas, tanto las de la leche bronca, como las del suero y aquellas no nativas, o modificadas con algún procedimiento tecnológico (ver tabla 8.2). Las propiedades funcionales de proteínas han mostrado mejoras al aplicar algunas condiciones específicas, como las de la reacción de Maillard que mejora la solubilidad, la estabilidad térmica, estabilidad coloidal y la emulsificación. Los productos de la reacción de Maillard tienen potencial como materiales encapsulantes de bioactivos (aceite de pescado, prebióticos, nutracéuticos) ya que impiden la descomposición en el proceso de digestión gástrica y prolongan el tiempo de permanencia en el intestino para una mejor absorción (Zhang *et al.*, 2019).

Tabla 8.2. Propiedades tecno-funcionales de compuestos derivados lácteos.

Producto (s)	Función (es)	Compuesto (s)	Referencias
Leche.	Material encapsulante	Caseinato con maltodextrina.	(Markman & Livney, 2012)
Suero de leche.	Colorante, solubilización, viscosidad (consistencia), espumado.	Proteínas de suero glicadas con maltodextrina.	(Martinez-Alvarenga <i>et al.</i> , 2014)
Suero de leche.	Emulsificante, estabilizador, encapsulante.	Productos de la reacción de Maillard: proteínas, carbohidratos.	(Lee <i>et al.</i> , 2016)
Suero de leche.	Material encapsulante: capacidad de retención de agua, espumado, estabilidad y capacidad antioxidante.	Conjugados de hidrolizados de proteína de suero (WPI) con galactosa.	(Zhang <i>et al.</i> , 2019)
Leche y suero de leche.	Material encapsulante	Proteínas de suero, caseinatos.	(Liu <i>et al.</i> , 2019)
Leche y suero de leche.	Texturizante y otorgar viscosidad.	Caseína y lactoproteínas.	(Nilesh <i>et al.</i> , 2020)
Suero de leche.	Texturizante (cremosidad, espesante), saborizante y estabilizante.	Polímeros de β -lactoglobulina (>200 kDa; 1-200 μ m).	(Rajakari & Myllärinen, 2020)

Leche (bebida láctea con gas).	Atenuación de intolerancia a la lactosa.	Concentrado proteico hidrolizado (lactasa).	(Sizer <i>et al.</i> , 2021)
Leche	Texturización en queso blando.	Exopolisacáridos producidos por BAL (Streptococcus thermophilus V3, Lactococcus lactis spp. cremoris 332, Lactobacillus Sakei 570 y Leuconostoc mesenteroides 808).	(Jiménez <i>et al.</i> , 2021)
Leche	Mejoras en textura y dulzor.	Streptococcus thermophilus lactosa positiva, galactosa negativa, que libera glucosa durante la fermentación de la leche.	(Cochu-Blachere <i>et al.</i> , 2021)

8.4 Tendencias en alimentos lácteos funcionales

En la industria de lácteos, la leche como sus derivados, por naturaleza se consideran alimentos funcionales. Sin embargo, dada la necesidad de cubrir requerimientos de los consumidores, especialmente enfocadas en mayor beneficio para la salud, estos han sido suplementados para poder satisfacer la creciente demanda. Productos lácteos con ácidos grasos, bajos en grasa, alto contenido de proteína y fibra o incluso saborizados con cúrcuma, se encuentran a disposición de los consumidores. El mercado de los alimentos lácteos es cada vez más diverso gracias que tiene como propósito satisfacer las necesidades en sabor, innovación y beneficio a la salud. Productos lácteos adicionados con fibra, proteína, grasa, DHA, especias exóticas, probióticos y combinaciones de los anteriores, son lo que se encuentra sorprendiendo al consumidor en el mercado nacional e internacional.

Lácteos con alta concentración de fibra. La inclusión de fibra a los alimentos lácteos es una de las primeras estrategias que se tomaron para darle un carácter funcional los alimentos. La fibra puede ser clasificada de acuerdo con su naturaleza, propiedades coligativas y fermentabilidad. Si es con respecto a su naturaleza, se tiene intrínseca y funcional. Considerando sus propiedades coligativas, la estructura química las divide en dos: fibra

soluble y fibra insoluble. Con respecto a la fermentabilidad, se clasifican en no fermentables, parcialmente fermentables y completamente fermentables (Abreu y Abreu *et al.*, 2021). El consumo de fibra durante la alimentación tiene un efecto benéfico para prevenir problemas de estreñimiento, hemorroides, hipercolesterolemia, cáncer de colon y otros asociados. Las fuentes de fibra adicionadas varían desde soya, arroz, avena, maíz, remolacha (Fernández-García & McGregor, 1997). La adición de fibra en alimentos lácteos fermentados como yogurt es una vía fácil y rápida para el consumidor si se quiere incrementar o mejorar la ingesta de fibra. Productos en el mercado indicando “alto contenido de fibra” es posible encontrarlos en presentación de yogurt para beber.

Lácteos con alta concentración de proteína. La proteína es un macronutriente que en la dieta afecta directamente el metabolismo energético y cambios en peso y composición del cuerpo a largo plazo. Las proteínas lácteas (80 % caseína y suero de leche 20 %) son ampliamente usadas como ingredientes para el desarrollo y formulación de alimentos con alto contenido proteico (Pichon *et al.*, 2008). En el caso de alimentos lácteos y lácteos fermentados también se ha optado incrementar el contenido proteico en sus presentaciones como producto terminado gracias a factores como estilo de vida, tendencias y moda, y en países desarrollados para favorecer la movilidad e independencia de adultos mayores. Ejemplos disponibles en el mercado nacional e internacionales además de leche y yogurt, se cuenta con queso cottage saborizado a tocino, chipotle, jalapeño/cheddar y tocino/cheddar, todos estos con una concentración de 25 g de proteína por porción.

Lácteos con DHA omega-3. Mucho se habla y divulga sobre los beneficios de los ácidos omega 3 o ácidos grasos poliinsaturados (PUFA – polyunsaturated fatty acids) gracias a sus efectos benéficos a la salud principalmente en la reducción de problemas cardiovasculares gracias a la reducción de lípidos en sangre en especial el colesterol. El interés es prevalente para los ácidos grasos omega 3 de cadena larga como el ácido eicosapentaenoico (EPA) y el ácido docosahexaenoico (DHA) obtenidos de pescado. La adición de estos ácidos grasos a los alimentos para incrementar su funcionalidad también se ha aplicado en los alimentos lácteos (Lopez-Huertas, 2010). Particularmente esta leche se ha enriquecido con DHA con una concentración de 125 mg por porción en productos ya comercializados. Otra opción en el mercado ofrece leche suplementada con 50 mg de DHA

+ 100 mg de colina, esta última es un tipo de vitamina que está asociada a procesos de regulación de memoria y estado de ánimo en las personas.

Lácteos ricos en grasas. Una tendencia de estilo de vida y alimentación que ha marcado la conducta de la población y por consecuencia el mercado, son las dietas keto o cetogénicas. Estas dietas tienen la característica de incluir alimentos ricos en grasas y proteína, mientras la porción de carbohidratos es eliminada o muy baja. La industria de los alimentos con el propósito de satisfacer la demanda ofrece a los consumidores alimentos lácteos fermentados keto. Productos en el mercado con 15 g de grasa, 15 g de proteína y 2 g de carbohidratos, por ejemplo, se pueden encontrar para estos consumidores.

Lácteos desinflamatorios (aloe vera). El aloe vera, es una planta que originalmente se utilizaba exclusivamente como planta medicinal. Conforme se estudió a mayor detalle esta planta, su uso y aplicación se diversificó a la cosmetología, farmacéutica y alimentaria (Vega G. *et al.*, 2005). De los múltiples productos que se obtienen del aloe vera, el mucílago o gel ha sido el centro de atención y se ha incorporado a bebidas refrescantes o gasificadas por sus propiedades antiinflamatorias, inmunoestimuladoras, antivirales, antibacterianas, nutricionales, entre otras. La industria láctea no desaprovechó esta tendencia de consumo del mercado, de tal forma que es posible encontrar yogurt bebible bajo en grasa con trocitos de gel de aloe vera.

Lácteos con colágeno. El colágeno es uno de los componentes primordiales y estructurales del cuerpo humano, es una proteína que da forma, estructura, elasticidad y flexibilidad a tendones, ligamentos, articulaciones, músculos, piel, huesos, dientes, uñas, cabello, etcétera. La ingesta de colágeno (10 g/día) puede ser suplida gracias al consumo variado de alimentos como carnes rojas, pescado, huevo, frutos, vegetales y semillas. Derivado de la vida acelerada y sedentaria, esta ingesta no es cubierta por muchas personas, de tal forma, que la industria láctea consideró suplementar leche de vaca con colágeno con 5 g/porción.

Lácteos con antioxidantes de especias. Románticamente hablando, las especias son esos ingredientes que le dan sazón y aroma a los alimentos. Desde el punto de vista químico y nutricional, las especias se obtienen de varias plantas y tienen compuestos con características de olor, aroma y sabor, así como capacidad antioxidante, antiinflamatorias, antimicrobiana,

antihipertensiva, anticancerígena, entre otras, que ofrecen un efecto benéfico para la salud humana al ser consumidas. La leche saborizada no es un producto nuevo en el mercado, leche sabor chocolate, vainilla y fresa son clásicos y favoritos por los consumidores. Sin embargo, existe una nueva tendencia por incorporar combinaciones de especias a la leche con el propósito de darle un sabor exótico, además de aprovechar las propiedades funcionales de las especias.

Entre las especias que se han añadido para saborizar leche, se tiene el jengibre y la cúrcuma. Al jengibre (*Zingiber officinale*) se le asocian efectos benéficos contra enfermedades gastrointestinales, respiratorios, antiinflamatorios y cardiovasculares y a la cúrcuma (*Curcuma aromatics*), planta aromática medicinal, se le asocian efectos contra enfermedades cardiovasculares, hepáticos, estomacales, es antidepresivo y desinflamatorio, entre otros (Abara *et al.*, 2021). Considerando estos beneficios, ya se encuentran en el mercado productos con base en leche saborizados con estas especias y en combinación con canela, clavo y otros.

Lácteos con probióticos. La presencia de microorganismos en los alimentos lácteos fermentados (alimentos probióticos) si bien ya no es una novedad, sí lo es cuando hablamos de nuevos productos lácteos obtenidos de la fermentación. En esta categoría entran la leche desnatada fermentada (buttermilk), la nata fermentada (crème fraîche) y el helado fermentado. La leche desnatada fermentada o Buttermilk es el producto agrio final de la fermentación de leche desnatada o parcialmente desnatada inoculada, proceso que realizan las bacterias ácido-lácticas. Este producto no contiene residuos de grasa de leche y se vende como producto para la cocina y horneado. Los microorganismos iniciadores que usualmente fermentan este producto lácteo son *Lactococcus*, *Lactobacillus*, *Streptococcus* y *Leuconostocs* (Kumar *et al.*, 2015).

El helado probiótico es una de las tendencias del mercado que ha empezado a posicionarse. Si bien la presencia de probióticos en alimentos lácteos diferentes al yogurt llama la atención del consumidor, helado probiótico es una alternativa irresistible. Productos con la leyenda “cultivos vivos y activos” en la etiqueta de un helado con sabor vainilla o fresa, y postres congelados altos en proteína indicando la presencia de *Bacillus coagulans* GBI-30 6086, se encuentra cada vez más en los estantes.

La demanda de nuevos sabores y obtener mayores beneficios a la

salud por los consumidores al consumir alimentos lácteos, tiene un efecto permanente, constante y creciente en el desarrollo de productos innovadores. Aunado a esto, es importante considerar la necesidad de evitar problemas de salud futuros en la población, lo que lleva a mantener la mira en la conducta de los consumidores en cuestión de costumbres, dietas y actividad física.

8.5 Ejemplo práctico 1: Propiedades tecno-funcionales del helado

8.5.1 Introducción

El helado es una mezcla aireada y congelada que se mantiene por debajo de los -20°C de forma homogénea. Su estructura está formada por burbujas de aire, cristales de hielo y glóbulos de grasa, que se encuentran inmersos en una matriz de gran viscosidad, donde proteínas de leche, azúcares y otros solutos se encuentran disueltos (Clarke Chris, 2004; Marshall *et al.*, 2003). La funcionalidad individual y en conjunto de sus ingredientes, así como las condiciones de cada una de las etapas del proceso, influyen directamente en la estabilidad del producto. En la elaboración del helado, la formación de la emulsión, batido y congelación, provocan varios cambios físicos que son contrarrestados por moléculas con actividad tensoactiva como proteínas lácteas y emulsificantes, las cuales tienen la función de estabilizar las fases. En este apartado se estudia la importancia de los ingredientes, así como las propiedades funcionales involucradas en cada etapa del proceso del helado.

8.5.2 Importancia de los ingredientes

El agua es el componente que se encuentra en mayor cantidad en la fase continua y su objetivo es dispersar e hidratar a todos los compuestos en polvo, especialmente a los sólidos no grasos lácteos (SNGL). En el desarrollo de helados es común el uso de proteínas lácteas como leche en polvo, caseinatos y suero de leche, teniendo como principal objetivo el estabilizar la mezcla base y junto con estabilizantes, incrementar la viscosidad. Las proteínas lácteas actúan como emulsionante durante la homogenización de la mezcla y como agente tensoactivo durante el proceso de batido y congelación: reducir la tensión interfacial y evitar la separación de fases. La parte hidrófoba de su estructura molecular consiste en general de una larga cadena alquílica y la parte hidrofílica contiene grupos disociables o también grupos hidroxilo o poliglicoléter. Otra función de los emulsificantes

es que tienden a desestabilizar a la grasa parcialmente, con la finalidad de producir una coalescencia y agregación de los glóbulos de grasa para poder formar esa red que estabiliza a las burbujas de aire durante el batido y al estar fuera de congelación (Clarke Chris, 2004).

Los carbohidratos que se encuentran disueltos en la fase continua ayudan a disminuir el punto de congelación y en conjunto con estabilizantes, mejoran la viscosidad de la mezcla base. También, disminuyen el crecimiento de los cristales de hielo, lo que provoca texturas más suaves (Alvarez *et al.*, 2005; Blond, 1994; Marshall *et al.*, 2003). Los estabilizantes son un grupo de ingredientes (usualmente polisacáridos) que se usan en concentraciones mínimas con la finalidad de ligar agua libre contenida en la fase continua. Estos compuestos promueven uniformidad durante el almacenamiento y alargan los tiempos de derretimiento cuando hay fluctuaciones de temperatura. Una de las funciones más importante de los estabilizantes es la de incrementar la viscosidad de la mezcla base, favoreciendo la incorporación de aire y la estabilización del sistema (Akesowan, 2008; Hernández *et al.*, 2001; Laaman, 2011). Las carrageninas son de los estabilizantes más empleados debido a sus interacciones específicas con las proteínas lácteas (Pintor and Totosaus, 2012). Finalmente, la grasa que forma la fase discontinua incrementa la viscosidad de la emulsión, lo que facilita la incorporación y mantenimiento del aire durante el proceso de batido. También son responsables de impartir aroma, sabor y textura (Bolliger *et al.*, 2000; Chung *et al.*, 2003).

Actualmente, la industria heladera se ha expandido y centrado en satisfacer las exigencias de los consumidores en cuanto a nutrición y calidad, desarrollando helados con diferentes fuentes de fibra dietética (Ayar *et al.*, 2017; Vital *et al.*, 2018), endulzados con varios polioles (Kalicka *et al.*, 2019), reducidos en grasa y azúcar por la incorporación de fructanos (Jardines *et al.*, 2020; Pintor *et al.*, 2017), con probióticos (Balthazar *et al.*, 2018; Fragozo *et al.*, 2016) y con antioxidantes (Gremski *et al.*, 2019).

8.5.3 *Manufactura del helado*

El proceso de manufactura del helado se divide en seis pasos, iniciando por el mezclado de los ingredientes en polvo. Durante esta etapa las proteínas lácteas retienen una importante cantidad de agua, lo que provoca el incremento de viscosidad de la mezcla base. Los factores intrínsecos propios

de las moléculas, así como factores del medio que las rodea, tienen influencia sobre su buena funcionalidad. El siguiente paso es la homogenización, que tienen como objetivo formar la emulsión y asegurar una correcta distribución de los ingredientes. Durante este paso las proteínas lácteas migran de la matriz continua hasta la interfase de los glóbulos de grasa, se absorben y reorganizan su estructura, dirigiendo su parte hidrofílica hacia la fase continua y su parte hidrofóbica a la fase dispersa, estabilizando el sistema (Marshall *et al.*, 2003). Para asegurar un producto inocuo, la mezcla base se pasteuriza a altas temperaturas, eliminando así, bacterias patógenas que pudieran encontrarse en los ingredientes. Las temperaturas y los tiempos de pasteurización dependen del tipo de ingredientes que formen la mezcla. Una pasteurización que reduzca el 99% de los microorganismos requiere de temperaturas entre 62-72°C por intervalos de tiempo de 8 a 40 minutos (Goff & Hartel, 2004). En este paso, ingredientes como proteínas y estabilizantes terminan de solubilizarse, lo que se ve reflejado en el incremento de la viscosidad de la mezcla. Uno de los factores que se ve afectado por el incremento de temperaturas es la desnaturalización de proteínas, ya que cerca de los 80°C estas pierden su estructura y tienden a precipitar, provocando la separación de fases (Clarke Chris, 2004). Después de pasteurizar es necesario enfriar la mezcla a 4°C con dos propósitos; el primero es provocar un choque térmico que asegure la total destrucción de microorganismos que pudieran permanecer en la mezcla aun después de la pasteurización y en segundo lugar, la completa hidratación tanto de proteínas como de estabilizantes, que garanticen una disminución del agua libre en el sistema, y finalmente se vea reflejado en menos cantidad de cristales de hielo y texturas más suaves (Marshall *et al.*, 2003). Posteriormente, la mezcla se bate a -4°C en un equipo que varía dependiendo el tipo de helado y el volumen de producción. En este paso se forma el helado (matriz de aire, cristales de hielo, glóbulos de grasa y suero) y ocurren cambios físicos que son provocados por la congelación del agua libre e incorporación de aire. La estabilidad del producto va a depender de la cantidad y el tamaño de las burbujas de aire que se introduzcan, el tamaño de los cristales de hielo, y especialmente del espesor de la capa interfacial formada por proteínas lácteas, emulsificantes y grasa parcialmente desestabilizada que rodean a las burbujas de aire, y tienen como propósito evitar la fuga del gas fuera de la matriz. La grasa juega un papel fundamental en la estabilidad y estructura

del sistema, especialmente cuando ésta ha sido solidificada, ya que crea una red sólida que evita que las burbujas de aire colapsen por el derretimiento de la matriz al estar en contacto con el medio ambiente o por el contacto con cristales de hielo (Hernández *et al.*, 2001). Finalmente, el helado es almacenado (-18 a -30°C) con el objetivo de congelar toda el agua libre restante para así evitar el crecimiento excesivo de cristales de hielo y con ello, formar texturas duras e indeseables en el helado.

8.5.4 Consideraciones finales

Las propiedades tecno-funcionales de los componentes del helado, en especial de las proteínas lácteas, como capacidad de retención de agua, incremento de viscosidad, estabilidad de emulsión y de espuma, dependen de factores propios de las moléculas, del entorno del sistema y de la interacción con otros componentes. Estas propiedades definen a su vez las características fisicoquímicas y sensoriales del producto. Tanto la cantidad como la calidad de los ingredientes tienen un impacto directo sobre la estabilidad de la estructura del helado que está formada por cristales de hielo, glóbulos de grasa y burbujas de aire.

8.6 Ejemplo práctico 2: Encapsulación de hidrolizados de proteína de frijol en un modelo lácteo con efecto funcional

8.6.1 Introducción

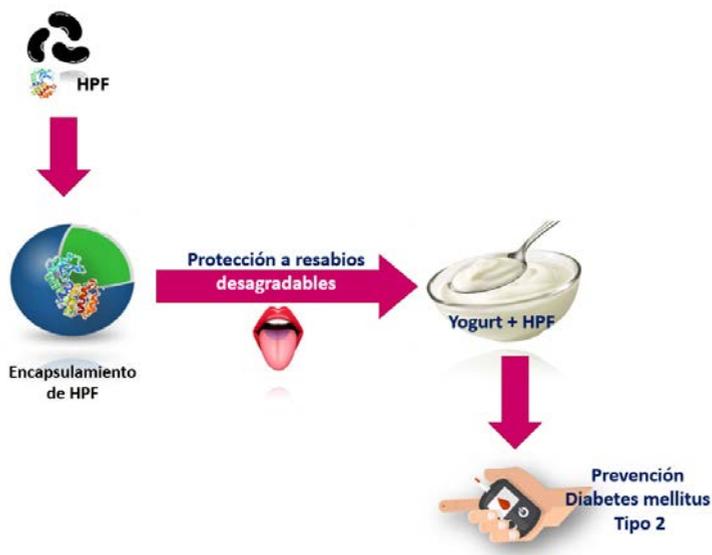
El yogur es uno de los alimentos más populares y consumidos a nivel mundial debido a sus propiedades nutricionales y funcionales. Es un producto lácteo producido a partir de la fermentación de lactosa por el metabolismo de bacterias como *Lactobacillus delbrueckii sp. Bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus* (Cândido de Souza *et al.*, 2021). El yogur tipo griego es un ejemplo de yogur concentrado caracterizado principalmente por su alto contenido en proteína, puede contener el doble o triple de proteína que un yogur regular (Uduwerella *et al.*, 2018). Su composición contiene generalmente de 23 a 25 g/100 g de sólidos totales, de 8 a 11 g/100 g de grasa y con 1.4 a 2.8 g/100 g de acidez. Los sólidos elevados contribuyen directamente a un notable incremento en el cuerpo viscoso, al mismo tiempo que mejoran la cremosidad y moderan el sabor ácido (Uduwerella *et al.*, 2017). La funcionalidad en el yogur tipo griego es debido a las proteínas de la

leche, principalmente por la caseína. Estas pueden hidrolizarse, dando lugar a la liberación de péptidos con actividades biológicas, mediante la acción de enzimas proteolíticas, ya sea durante la digestión gastrointestinal en el cuerpo humano o durante los procesos de fermentación y/o maduración de los productos lácteos (Giacometti Cavalheiro *et al.*, 2020). El consumo de yogurt tipo griego por su valor nutrimental y funcional se recomienda en personas con diabetes mellitus tipo 2, debido a que favorece el mantenimiento de glucosa en sangre, evitando hipoglicemias e hiperglicemias (Fernandez *et al.*, 2016). La tendencia de generar alimentos funcionales se está incrementando, de tal manera que el objetivo de este trabajo fue generar un sistema de encapsulamiento como barrera protectora para hidrolizados de proteína de frijol (HPF) para ser adicionado en un yogurt tipo griego, que además de la protección permitió enmascarar resabios por la dosis incorporada de HPF para tener un efecto funcional.

8.6.2 *Yogur tipo griego con hidrolizados de proteína de frijol*

Uno de los principales retos al incorporar compuestos bioactivos como lo son péptidos o hidrolizados a un sistema alimentario, es proveer la cantidad necesaria para tener un efecto funcional. Para el yogurt tipo griego, la cantidad añadida de hidrolizados, por su naturaleza, generó la percepción de notas amargas que son característicos en los HPF. Debido a ello, fue necesario encapsularlos para enmascarar esas notas desagradables para el consumidor y así mantener el potencial biológico anti-diabetes (figura 8.1). El sistema de enmascaramiento se realizó de acuerdo con el proceso obtenido de Free-Manjarrez *et al.* (2022), incorporando la dosis necesaria para obtener el efecto funcional (anti-diabetes).

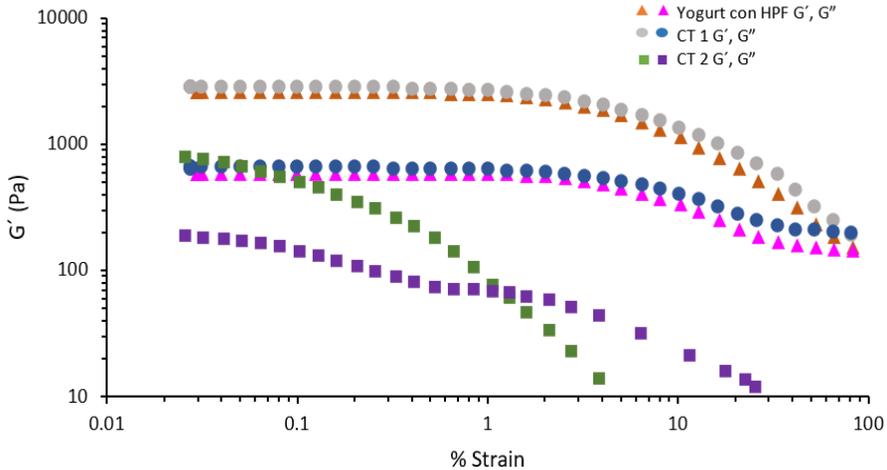
Figura 8.1. Aplicación del sistema de encapsulación en modelo lácteo.



Según la (Norma Oficial Mexicana, NOM-181-SCFI/SAGARPA-2018, Yogurt-Denominación, Especificaciones Físicoquímicas y Microbiológicas, Información Comercial y Métodos de Prueba, 2018), el contenido mínimo de proteína en yogur natural es del 3.1%. Se formuló un yogur tipo griego a partir de leche pasteurizada baja en grasa, al cual se le incorporaron los HPF encapsulados. Respecto a los resultados obtenidos y considerando que un yogur tipo griego contiene al menos el doble de proteína, la composición del yogur desarrollado (Yogur con HPF) en cuanto a proteína fue de 9.96%. La sinéresis fue baja y con acidez similar a productos comerciales.

En el caso de las propiedades reológicas, estas se vieron favorecidas por el alto contenido de proteína. Para el yogur con HPF encapsulados mostró un comportamiento muy similar con respecto a productos contratipos (CT1 y CT2) (figura 8.2), mostrando un carácter predominantemente elástico sobre su comportamiento viscoso ($G' > G''$).

Figura 8.2. Comportamiento reológico del yogur con HPF encapsulados y productos contratipo comerciales (CT 1 y CT 2).



El sistema de encapsulamiento protegió a los HPF reduciendo la percepción de resabios amargos en el yogur tipo griego a diferencia del control. Existe evidencia que demuestra que los péptidos de frijol desempeñan un papel importante en el manejo de la diabetes mellitus tipo 2 (de Souza Rocha *et al.*, 2015; Mojica *et al.*, 2018). Con la encapsulación de los HPF, se favoreció la inhibición de enzimas relacionadas con el metabolismo de carbohidratos como dipeptidil peptidasa IV (DPP-IV) y α -amilasa, importantes en el tratamiento o prevención de diabetes mellitus tipo 2.

8.6.3 Consideraciones finales

El efecto funcional de los hidrolizados de proteína de frijol en el yogur tipo griego se vio favorecido con la encapsulación de estos compuestos, reduciendo su percepción e incrementando la inhibición de enzimas relacionadas con el metabolismo de carbohidratos como de α -amilasa y DPP-IV.

8.7 Conclusiones

La composición tan única de la leche le brinda la calidad necesaria para considerarse un alimento funcional, que por definición brinda beneficios a la salud debido a su consumo con cierta periodicidad y concentración, además de que, provee componentes que contribuyen a características fisicoquímicas deseadas para un producto. En este contexto, los beneficios a la salud que brinda la leche al consumidor, más allá del aporte nutricional, se han evidenciado en propiedades como la antihipertensiva, antimicrobiana, inmunomoduladora, antioxidante, citomoduladora, entre otras; además, las propiedades tecnofuncionales que también tienen amplios estudios de evidencia (emulsificante, estabilizador, encapsulante, retención de agua, espumado, texturizante, viscosidad) pueden ser aprovechadas por los transformadores en el desarrollo de nuevos productos derivados lácteos, incluso en nuevos productos con compuestos lácteos como ingredientes. Cabe hacer mención que muchas de las propiedades mencionadas han sido demostradas para compuestos lácteos, no para la leche entera, y que las investigaciones continúan, siendo una línea de generación de conocimiento aún en desarrollo. De este modo, la leche y su complejidad brindan beneficios nutricionales, bioactivos y tecnofuncionales con amplio espectro de aplicación que aún no se aprovecha al máximo potencial, por lo que la difusión de dichas propiedades será en beneficio tanto de un público en general como de un público especializado, que busque aprovechar los beneficios ya revisados en el capítulo.

8.8 Bibliografía

- Abara, P. N., Adjeroh, L. A., Nwachukwu, M. O., & Osinomumu, I. D. (2021). Differentiation between two Spices: *Zingiber officinale* (Ginger) and *Curcuma longa* (Turmeric); their Proximate, Mineral and Vitamin Contents Proximate Analysis View project Assessment of: Benzene Toluene Ethylbenzene Xylene in Water and from Itu Ibeno and. *IAA Journal of Scientific Research*, 7(1), 17–24. www.iaajournals.org
- Abreu y Abreu, A. T., Milke-García, M. P., Argüello-Arévalo, A. M., Calderón-de la Barca, A. M., Carmona-Sánchez, R. I., Consuelo-Sánchez, A., Coss-Adame, E., García-Cedillo, M. F., Hernández-Rosiles, V., Icaza-Chávez, M. E., Martínez-Medina, J. N., & Morán-Ramos, R. (2021). Dietary fiber and the microbiota: A narrative review by a group of experts from the Asociación Mexicana de Gastroenterología. *Revista de Gastroenterología de México*, 86, 287–304.
- Akesowan, A. (2008). Effect of Combined Stabilizers Containing Konjac Flour and κ -Carrageenan on Ice Cream. *Assumption University Journal Technology*, 12(2), 81–85.
- Alais, C. (1985). Ciencia de la leche: principios de técnica lechera. *Reverté*. https://books.google.com.mx/books?id=bW_ULacGBZMC&printsec=frontcover&hl=es&cad=0#v=onepage&q&f=false
- Alvarez, V. B., Wolters, C. L., Vodovotz, Y., & Ji, T. (2005). Physical properties of ice cream containing milk protein concentrates. *Journal of Dairy Science*, 88(3), 862–871. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(05\)72752-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(05)72752-1)
- Ames, J. M. (2003). Browning | Nonenzymatic. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*, 1997, 665–672. <https://doi.org/10.1016/b0-12-227055-x/00128-0>
- Ayar, A., Sıçramaz, H., SIC β RAMAZ, H., Pil, S. R., & Y I L M A Z, U. K. (2017). Probiotic properties of ice creams produced with dietary fibres from by-products of the food industry. *Article in International Journal of Dairy Technology*, 71, 174–182. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12387>
- Balthazar, C. F., Silva, H. L. A., Esmerino, E. A., Rocha, R. S., Moraes, J.,

- Carmo, M. A. V., Azevedo, L., Camps, I., K.D Abud, Y., Sant'Anna, C., Franco, R. M., Freitas, M. Q., Silva, M. C., Raices, R. S. L., Escher, G. B., Granato, D., Senaka Ranadheera, C., Nazarro, F., & Cruz, A. G. (2018). The addition of inulin and *Lactobacillus casei* 01 in sheep milk ice cream. *Food Chemistry*, 246, 464–472. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.12.002>
- Banerjee, P., & Ray, D. P. (2019). Functional Food: A Brief Overview. *International Journal of Bioresource Science*, 6(2), 57–60. <https://doi.org/10.30954/2347-9655.02.2019.2>
- Blond, G. (1994). Mechanical Properties of Frozen Model Solutions. *Water in Foods*, 253–269. <https://doi.org/10.1016/B978-1-85861-037-5.50019-9>
- Bolliger, S., Goff, H. D., & Tharp, B. W. (2000). Correlation between colloidal properties of ice cream mix and ice cream. *International Dairy Journal*, 10(4), 303–309. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(00\)00044-3](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(00)00044-3)
- Bylund, G. (1995). Dairy Processing Handbook. In Tetra Pak Processing Systems (Vol. G3). *Tetra Pak Processing Systems AB*. <http://www.ales2.ualberta.ca/afns/courses/nufs403/PDFs/chapter15.pdf>
- Calligaris, S., Manzocco, L., Anese, M., & Nicoli, M. C. (2004). Effect of heat-treatment on the antioxidant and pro-oxidant activity of milk. *International Dairy Journal*, 14(5), 421–427. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2003.10.001>
- Cândido de Souza, W. F., Souza do Amaral, C. R., & Lima da Silva Bernardino, P. D. (2021). The addition of skim milk powder and dairy cream influences the physicochemical properties and the sensory acceptance of concentrated Greek-style yogurt. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 24, 100349. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100349>
- Chauhan, V., & Kanwar, S. S. (2020). Bioactive peptides: Synthesis, functions and biotechnological applications. En *Biotechnological Production of Bioactive Compounds* (pp. 107–137). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64323-0.00004-7>
- Chung, S. J., Heymann, H., & Grün, I. U. (2003). Temporal release of flavor compounds from low-fat and high-fat ice cream during eating. *Journal of Food Science*, 68(6), 2150–2156. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2003.tb07035.x>

- Clarke Chris. (2004). *The Science of Ice Cream* (2 nd). RSCPublishing.
- de Castro, R. J. S., Domingues, M. A. F., Ohara, A., Okuro, P. K., dos Santos, J. G., Brexó, R. P., & Sato, H. H. (2017). Whey protein as a key component in food systems: Physicochemical properties, production technologies and applications. *Food Structure*, 14, 17–29. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2017.05.004>
- de Souza Rocha, T., Hernandez, L. M. R., Mojica, L., Johnson, M. H., Chang, Y. K., & González de Mejía, E. (2015). Germination of *Phaseolus vulgaris* and alcalase hydrolysis of its proteins produced bioactive peptides capable of improving markers related to type-2 diabetes in vitro. *Food Research International*, 76(P1), 150–159. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.04.041>
- NORMA Oficial Mexicana, NOM-181-SCFI/SAGARPA-2018, Yogurt-Denominación, especificaciones fisicoquímicas y microbiológicas, información comercial y métodos de prueba, Pub. L. No. NOM-181-SCFI/SAGARPA-2018, *Diario Oficial de la Federación* 1 (2018).
- Fernández-García, E., & McGregor, J. (1997). Fortification of sweetened plain yogurt with insoluble dietary fiber. *Z Lebensm Unters Forsch A*, 204, 433–437.
- Fernandez, M. ., Picard-Deland, É., Barz, M. L., Daniel, N., & Marette, A. (2016). Yogurt and Health. En *Fermented Foods in Health and Disease Prevention*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-802309-9.00013-3>
- FitzGerald, R. J., & Meisel, H. (2000). Milk protein-derived peptide inhibitors of angiotensin-I-converting enzyme. *British Journal of Nutrition*, 84(Suppl. 1), S33–S37.
- Fragoso, M., Lourdes Pérez-Chabela, M., Hernández-Alcantara, A. M., Escalona-Buendía, H. B., Pintor, A., & Totosaus, A. (2016). Carpathian Journal Of Food Science And Technology journal homepage: http://chimie-biologie.ubm.ro/carpathian_journal/index.html Sensory, Melting And Textural Properties Of Fat-Reduced Ice Cream Inoculated With Thermotolerant Lactic Acid Bacteria.
- Free-Manjarrez, S., Mojica, L., Espinosa-Andrews, H., Morales-Hernández, N. (2022). Sensory and biological potential of encapsulated common bean protein hydrolysates incorporated in a greek-style yogurt matrix. *Polymers*, 14(5), 854. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/polym14050854>

- Giacometti Cavalheiro, F., Parra Baptista, D., Domingues Galli, B., Negrão, F., Nogueira Eberlin, M., & Lúcia Gigante, M. (2020). High protein yogurt with addition of *Lactobacillus helveticus*: Peptide profile and angiotensin-converting enzyme ACE-inhibitory activity. *Food Chemistry*, 333(September 2019), 127482. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127482>
- Gill, H. S., Doull, F., Rutherford, K. J., & Cross, M. L. (2000). Immunoregulatory peptides in bovine milk. *British Journal of Nutrition*, 84(Suppl. 1). <https://doi.org/10.1017/s0007114500002336>
- Goff, H., & Hartel, R. (2004). *Handbook of frozen foods* (CRC Press.).
- Gremski, L. A., Coelho, A. L. K., Santos, J. S., Daguier, H., Molognoni, L., do Prado-Silva, L., Sant'Ana, A. S., da Silva Rocha, R., da Silva, M. C., Cruz, A. G., Azevedo, L., do Carmo, M. A. V., Wen, M., Zhang, L., & Granato, D. (2019). Antioxidants-rich ice cream containing herbal extracts and fructooligosaccharides: manufacture, functional and sensory properties. *Food Chemistry*, 298, 125098. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125098>
- Hayes, M., Stanton, C., Fitzgerald, G. F., & Ross, R. P. (2007). Putting microbes to work: Dairy fermentation, cell factories and bioactive peptides. Part II: Bioactive peptide functions. *Biotechnology Journal*, 2(4), 435–449. <https://doi.org/10.1002/biot.200700045>
- Hernández, M. J., Dolz, J., Dolz, M., Delegido, J., & Pellicer, J. (2001). Viscous Synergism in Carrageenans (and) and Locust Bean Gum Mixtures: Influence of Adding Sodium Carboxymethylcellulose. *Food Science and Technology International*, 7, 383–391. <https://doi.org/10.1106/6BCX-6XH6-PT82-8WCK>
- ILSI. (1999). Scientific Concepts of Functional Foods in Europe Consensus Document. *British Journal of Nutrition*, 81(4), S1–S27. <https://doi.org/10.1017/S0007114599000471>
- Jardines, A. P., Arjona-Román, J. L., Severiano-Pérez, P., Totosaus-Sánchez, A., Fizman, S., & Escalona-Buendía, H. B. (2020). Agave fructans as fat and sugar replacers in ice cream: Sensory, thermal and texture properties. *Food Hydrocolloids*, 108, 106032. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2020.106032>
- Kalicka, D., Znamirowska, A., Pawlos, M., Buniowska, M., & Szajnar, K. (2019). Physical and sensory characteristics and probiotic survival in ice cream sweetened with various polyols. *International Journal*

- of Dairy Technology, 72(3), 456–465. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12605>
- Kumar, R., Kaur, M., Garsa, A. K., Shrivastava, B., Reddy, V. P., & Tyagi, A. (2015). Natural and cultured buttermilk. En *Fermented Milk and Dairy Products* (pp. 203–226). <https://doi.org/10.1201/b18987>
- Laaman, T. R. (2011). Hydrocolloids in Food Processing. En *Hydrocolloids in Food Processing*. Wiley-Blackwell. <https://doi.org/10.1002/9780813814490>
- Lopez-Huertas, E. (2010). Health effects of oleic acid and long chain omega-3 fatty acids (EPA and DHA) enriched milks. A review of intervention studies. En *Pharmacological Research* (Vol. 61, Issue 3, pp. 200–207). <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2009.10.007>
- Marques, C., Manuela Amorim, M., Odila Pereira, J., Estevez Pintado, M., Moura, D., Calhau, C., & Pinheiro, H. (2012). Bioactive Peptides - Are There More Antihypertensive Mechanisms Beyond ACE Inhibition? *Current Pharmaceutical Design*, 18(30), 4706–4713. <https://doi.org/10.2174/138161212802651670>
- Marshall, R. T., Goff, H. D., & Hartel, R. W. (2003). The Freezing Process. En *Ice Cream* (pp. 171–206). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0163-3_7
- Meisel, H., & FitzGerald, R. (2003). Biofunctional Peptides from Milk Proteins: Mineral Binding and Cytomodulatory Effects. *Current Pharmaceutical Design*, 9(16), 1289–1295. <https://doi.org/10.2174/1381612033454847>
- Mohanty, D., Jena, R., Choudhury, P. K., Pattnaik, R., Mohapatra, S., & Saini, M. R. (2016). Milk derived antimicrobial bioactive peptides: A review. *International Journal of Food Properties*, 19(4), 837–846. <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1048356>
- Mojica, L., Luna-Vital, D. A., & Gonzalez de Mejia, E. (2018). Black bean peptides inhibit glucose uptake in Caco-2 adenocarcinoma cells by blocking the expression and translocation pathway of glucose transporters. *Toxicology Reports*, 5, 552–560. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2018.04.007>
- Pichon, L., Potier, M., Tome, D., Mikogami, T., Laplaize, B., Martin-Rouas, C., & Fromentin, G. (2008). High-protein diets containing different milk protein fractions differently influence energy intake

- and adiposity in the rat. *British Journal of Nutrition*, 99(4), 739–748. <https://doi.org/10.1017/S0007114507831709>
- Pintor, Aurora; Totosaus, A. (2012). Ice cream properties affected by lambda-carrageenan or iota-carrageenan interactions with locust bean gum / carboxymethylcellulose mixtures. *International Food Research Journal*, 19(4), 1409–1414.
- Pintor, A., Escalona-Buendía, & Totosaus, A. (2017). Effect of inulin on melting and textural properties of low-fat and sugar-reduced ice cream: optimization via a response surface methodology. *International Food Research Journal*, 24(4), 1728–1734.
- Rincón-León, F. (2003). Functional Foods. In B. Caballero (Ed.), *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition* (Second, pp. 2827–2832). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B0-12-227055-X/01328-6>
- Sun, H., & Jossen, H. (2012). Milk Derived Peptides with Immune Stimulating Antiviral Properties. En *Milk Protein* (Vol. 11, pp. 45–82). <https://doi.org/10.5772/50158>
- Uduwerella, G., Chandrapala, J., & Vasiljevic, T. (2017). Minimising generation of acid whey during Greek yoghurt manufacturing. *Journal of Dairy Research*, 84(3), 346–354. <https://doi.org/10.1017/S0022029917000279>
- Uduwerella, G., Chandrapala, J., & Vasiljevic, T. (2018). Preconcentration of yoghurt base by ultrafiltration for reduction in acid whey generation during Greek yoghurt manufacturing. *International Journal of Dairy Technology*, 71(1), 71–80. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12393>
- Vega G, A., Ampuero C, N., Díaz N, L., & Lemus M, R. (2005). El Aloe Vera (*Aloe Barbadensis* Miller) como componente de alimentos funcionales. *Revista Chilena de Nutrición*, 32(3). <https://doi.org/10.4067/s0717-75182005000300005>
- Vital, A. C. P., Santos, N. W., Matumoto-Pintro, P. T., da Silva Scapim, M. R., & Madrona, G. S. (2018). Ice cream supplemented with grape juice residue as a source of antioxidants. *International Journal of Dairy Technology*, 71(1), 183–189. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12412>
- Zhang, X., Li, X., Liu, L., Wang, L., Massounga Bora, A. F., & Du, L. (2019). Covalent conjugation of whey protein isolate hydrolysates and galactose through Maillard reaction to improve the functional properties and antioxidant activity. *International Dairy Journal*, 102, 104584. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104584>

Capítulo 9

Propiedades de la leche y los lácteos evaluadas por metodologías instrumentales

Mondragón-Cortez, Pedro M.^{1};
Morales- Hernández, Norma¹;
López-Ramírez, Julisa E.¹
Sucre-Ramírez Manuel O.²
Gastélum-Martínez Elida²*

9.1 Introducción

El análisis composicional en los productos lácteos ha sido una constante preocupación por parte de pequeños o grandes productores. El propósito ha sido conocer la variación composicional por efecto del procesamiento, en sus distintas etapas, hasta el cuidado de su producto final. Sin descuidar, el análisis de calidad de las materias primas iniciales, incluyendo, a la leche bronca utilizada tradicionalmente es posible medir distintos parámetros físico-químicos, por ejemplo, pH, viscosidad, sólidos totales, conductividad eléctrica, humedad, para lo cual se utilizan equipos que dan el resultado de manera rápida y con relativa precisión. También, es común, realizar una medición de la composición principal de los lácteos: proteínas, carbohidratos

¹ Tecnología Alimentaria. Sede Zapopan. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ). Camino Arenero 1227, el Bajío. C.P. 45019. Zapopan, Jalisco, México. pmondragon@ciatej.mx. * Corresponding author.

¹ Tecnología Alimentaria. Sede Zapopan. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ). Camino Arenero 1227, el Bajío. C.P. 45019. Zapopan, Jalisco, México. nmorales@ciatej.mx.

¹ Tecnología Alimentaria. Sede Zapopan. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ). Camino Arenero 1227, el Bajío. C.P. 45019. Zapopan, Jalisco, México. jelopez@ciatej.mx.

² Sede Sureste. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ). Interior Parque Científico y Tecnológico Yucatán s/n. C.P. 97302. Mérida, Yucatán, México. oramirez@ciatej.mx

² Sede Sureste. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ). Interior Parque Científico y Tecnológico Yucatán s/n. C.P. 97302. Mérida, Yucatán, México. egastelum@ciatej.mx

(lactosa) y grasas. Estas propiedades composicionales generalmente se llevan a cabo en laboratorios cercanos a los centros de producción, principalmente por pequeños productores de quesos, yogurt o algún otro producto derivado. Las grandes y medianas industrias usan a menudo equipos calibrados para detectar la composición primaria, por ejemplo, equipos basados en espectroscopía de infrarrojo cercano en conjunto con modelación estadística de datos.

El propósito de este capítulo es dar a conocer otro tipo de herramientas de análisis, las cuales no son tan conocidas o son usadas muy poco por el sector lácteo, sobre todo por los pequeños productores, pero que proporcionan información valiosa o enriquecedora con relación con las propiedades físico-químicas de los productos, y que pueden servir para controlar o estandarizar las propiedades en cualquier etapa y como consecuencia obtener un producto terminado con las características físicas, químicas o sensoriales deseadas. Entre las técnicas que mostraremos se encuentran: la espectroscopía de infrarrojo, la cromatografía de gases, la reología y la relacionada con el análisis de textura. Se mostrarán sus principios, en forma breve pero representativa, y algunos ejemplos de análisis para su mejor comprensión. Hay que hacer notar, que existen otras técnicas de análisis disponibles en el mercado, pero las que se muestran aquí son habitualmente utilizadas en los laboratorios del CIATEJ en el análisis instrumental de productos lácteos. En este capítulo, se presenta información de la espectroscopía de infrarrojo, en el medio infrarrojo, la cual proporciona información sobre los grupos funcionales presentes en los lácteos, y con ello permitirá conocer cualitativamente la calidad de los productos, por otro lado, la espectroscopía de infrarrojo cercano es útil para determinar cuantitativamente la composición de los lácteos, con relación con el contenido de proteínas, grasas, carbohidratos o humedad. Respecto a la cromatografía de gases, ésta permite conocer la composición volátil de los lácteos, así como permite la determinación de los ácidos grasos simples contenidos en una muestra láctea. La reología brinda información del comportamiento de los fluidos lácteos ante esfuerzos mecánicos externos, y con ello conocer sus propiedades de flujo, las cuales son muy útiles, por ejemplo, en procesos de envasado o de propiedades relacionadas con el flujo. Finalmente, un análisis de textura proporciona información sobre las propiedades mecánicas de los lácteos (tensión-compresión), con lo cual es posible asociarlas con alguna propiedad sensorial, por ejemplo, dureza en boca, gomosidad, o masticabilidad,

generalmente en un producto lácteo con consistencia sólida o semilíquida. La semejanza del proceso de masticación de un alimento lácteo en la boca puede aproximarse con una prueba de textura conocida como TPA, la cual proporciona información de los múltiples esfuerzos mecánicos involucrados en la interacción boca-dientes y sobre el comportamiento del alimento en las paredes internas de la boca (pegajoso, granuloso, viscoso, etcétera).

Finalmente, esperamos que el lector o el profesional dedicado al estudio de los lácteos encuentre el aliciente para profundizar más en este campo con la información que aquí proporcionamos, es nuestro propósito, el cual esperamos haberlo logrado.

9.2 La espectroscopía de infrarrojo

La espectroscopía estudia la interacción de la radiación electromagnética con una sustancia y tiene como base que la radiación incidente sobre la materia es diferente a la radiación saliente. Esta diferencia energética entre la radiación entrante y la saliente se le conoce como energía de interacción o de absorción. Cuando esta clase de energía interacciona con la muestra, puede provocar cambios a nivel atómico o molecular, lo cual brinda información a esos niveles. Por ejemplo, cuando interacciona una radiación de tipo infrarrojo con una muestra, se produce un fenómeno de vibración molecular en ciertas regiones de las moléculas que componen a la sustancia o muestra estudiada, por ejemplo, en enlaces O-H, C-H, C-O, C-C, C=O, entre otros.

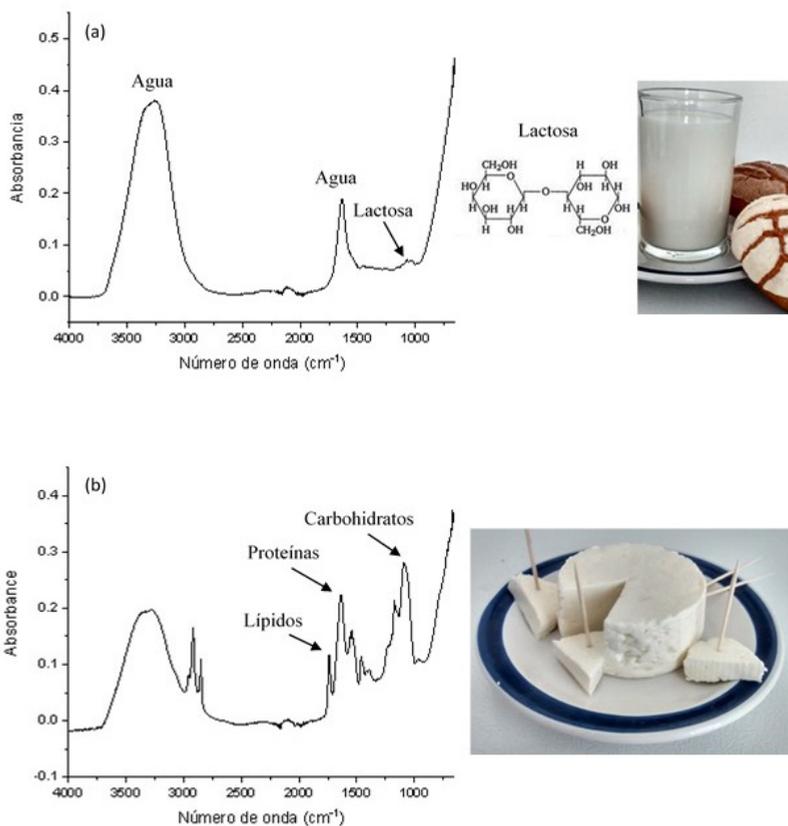
Hoy en día el análisis de productos lácteos se lleva a cabo utilizando las técnicas de espectroscopía de infrarrojo medio e infrarrojo cercano. La primera primordialmente estudia cualitativamente los compuestos presentes en las muestras lácteas, como son: las proteínas, los carbohidratos (lactosa, principalmente) y los lípidos. Mientras que la técnica de infrarrojo medio estudia cuantitativamente la composición fundamental de los lácteos, principalmente, y utiliza técnicas de análisis estadístico en combinación con mediciones de laboratorio de referencia para llevarla a cabo.

La espectroscopía de infrarrojo tiene notables ventajas, es decir, no es necesaria una preparación de la muestra a ser medida, simplemente se necesita una muestra homogénea, a menudo menor a un gramo, aunque puede ser más, dependiendo de cada caso en particular. También, es posible medir muestras líquidas, sólidas o semi sólidas. Además, el resultado

(espectro) se obtiene frecuentemente en menos de un minuto. En la figura 9.1 a-b se pueden observar, a manera de ejemplos, espectros de infrarrojo de leche y queso.

La espectroscopía de infrarrojo medio, o también conocida como FTIR o MID-IR, acrónimos del inglés, Fourier Transform Infrared Spectroscopy y middle infrared, respectivamente. La FTIR utiliza para realizar la medición un haz de infrarrojo energéticamente comprendido entre 4000 y 200 cm^{-1} o entre 2.5 y 50 μm , dentro del llamado espectro electromagnético (Beć *et al.*, 2020).

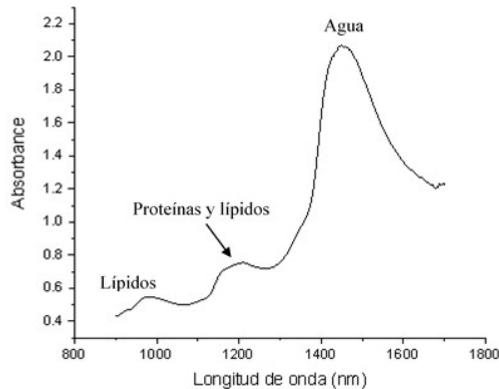
Figura 9.1 a-b. En la figura (a) se presenta un espectro FTIR de una muestra de leche, en donde se puede apreciar bandas de absorción del agua y una pequeña banda asociada con la molécula de lactosa. En la figura (b) se pueden observar bandas relacionadas con las proteínas, lípidos y carbohidratos presentes en la muestra de queso.



La espectroscopía de infrarrojo cercano es conocida por su acrónimo NIR, el cual proviene del inglés Near Infrared. La espectroscopía NIR utiliza un haz de infrarrojo con una intensidad comprendida entre 10,000 y 4000 cm^{-1} o entre 1.0 y 2.5 μm .

El espectrómetro de infrarrojo con transformada de Fourier o Espectrómetro de FTIR (siglas del inglés, Fourier Transform Infrared Spectroscopy) es el nombre del equipo en donde se obtienen los llamados espectros de infrarrojo. En estos espectros se muestran las bandas o picos asociados con las vibraciones moleculares procedentes de ciertos enlaces pertenecientes a la composición molecular del producto lácteo analizado. En la figura 9.2 se puede apreciar un espectro NIR proveniente de una muestra de leche.

Figura 9.2 Espectro NIR de una muestra de leche. El espectro muestra bandas de absorción provenientes de las proteínas y los lípidos de la leche, así como señales provenientes del agua.



A diferencia de la espectroscopía FTIR o MID-IR en donde en un espectro se pueden observar los grupos funcionales o señales fundamentales de vibración de las muestras ensayadas, en un espectro NIR es posible observar sobre tonos o armónicos y combinaciones de bandas, las cuales tienen una relación vibracional con las señales provenientes del infrarrojo medio (tonos principales), y a menudo, estas señales espectrales son difíciles de determinar o diferenciar a primera vista, ya que las bandas son

amplias y no muy intensas. Por lo tanto, el software de análisis de datos es ampliamente usado para el análisis de espectros NIR, principalmente para obtener curvas de calibración, las cuales se utilizan para determinar algunos parámetros físico-químicos en productos lácteos, por ejemplo, proteínas, grasas, carbohidratos o cantidad de agua. La calibración se puede llevar a cabo utilizando diferentes metodologías, tales como: regresión lineal múltiple (MLR), regresión por mínimos cuadrados (PLS) o redes neuronales artificiales, estos métodos, en combinación con un robusto y preciso conjunto de datos proveniente de análisis químicos de referencia (Fernández-Pierna *et al.*, 2011; Shenk *et al.*, 1997).

Hoy en día, existen en el mercado espectrómetros de infrarrojo de distintas marcas comerciales, robustos para uso en el laboratorio y portátiles para aplicaciones en campo o directamente sobre un proceso de producción *in situ*. En la figura 9.3 se puede apreciar un espectrómetro portátil de la marca Agilent, modelo Cary 630, el cual se encuentra en el laboratorio de análisis de alimentos del CIATEJ.

Figura 9.3. Espectrómetro de infrarrojo portátil (Agilent). La muestra de un producto lácteo se coloca sobre un cristal a alto índice de refracción, en donde se logra la interacción con el haz de infrarrojo y posteriormente se obtiene el espectro correspondiente en la computadora del equipo.



9.3 El análisis de textura en productos lácteos

Los productos lácteos representan una de las categorías más amplias en la industria alimentaria y tecnológicamente compleja en términos de producción y factores que afectan sus características, como el sabor y textura, siendo esta última un factor importante de calidad en muchos productos lácteos por su composición con base en leche (Ercili-Cura *et al.*, 2015).

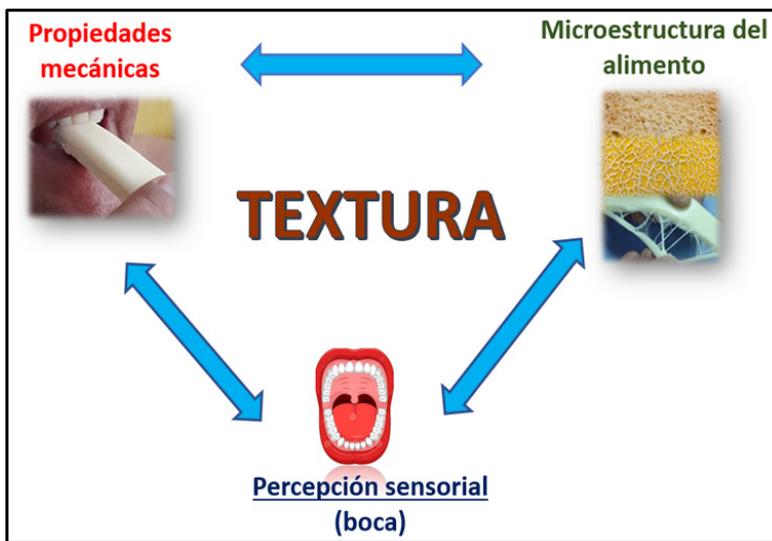
El principal constituyente de la leche para la generación de la textura en los productos lácteos son las proteínas con diferentes propiedades de la familia de las caseínas y proteínas del suero de leche que, bajo condiciones de procesamiento como cambio de pH, fuerza iónica, temperatura contribuyen a diferentes texturas para darle un mayor valor a los productos lácteos (Cornacchia *et al.*, 2014). La grasa de la leche impacta en menor grado para la textura de los productos lácteos a diferencia de las proteínas de la leche, a temperaturas de refrigeración, la grasa láctea y los productos ricos en grasa láctea, como la mantequilla, son bastante sólidos y poco untables. No obstante, controlando procesos y tamaño de cristales por temperatura se pueden controlar texturas y que en productos de queso con bajo contenido de grasa tienen dificultades para igualar la sensación en boca y, por tanto, la aceptación por parte del consumidor de sus homólogos con contenido de grasa. El disacárido lactosa es quizá el que menos importancia tiene en cuanto a la textura, a excepción de productos altos que en combinaciones de procesos se controlan los cristales para obtener texturas arenosa o granulada (Ercili-Cura *et al.*, 2015).

La textura puede ser definida como una manifestación sensorial y funcional de los alimentos detectado a través de los sentidos, de acuerdo, a las percepciones que se detecten con el oído, vista, tacto, olor y cinestesia. La evaluación de la textura es un punto importante para poder establecer la calidad un alimento. Esta evaluación se puede realizar por métodos mecánicos y sensoriales (Szczeniak, 2002a); cabe distinguir que la evaluación sensorial estudia las características de los alimentos percibida por los sentidos y comprende para ello varias metodologías de análisis, en las que el humano es el instrumento de medición.

La calidad de un producto comienza con la evaluación visual, y una vez que se empieza a consumir, esa calidad se basa no sólo en sabor y gusto sino en la textura, debido a la sensación deseable que se genera durante su

consumo, durante el proceso oral, debido a la estructura que presenta el alimento como pueden ser fluidos (leche), semisólidos (yogur) o sólidos blandos (queso) (Allen Foegeding *et al.*, 2010). El proceso oral de un alimento es dinámico debido a que involucra un proceso destructivo, con la ruptura del alimento generando una reducción del tamaño de partícula, además de la participación de la saliva para humectar el alimento y percibir la textura de este. Un parámetro importante de un alimento es su microestructura y composición, que en conjunto generan las propiedades del alimento y que a través de las propiedades mecánicas como en boca y la masticación se puede percibir la microestructura y relacionarlo con la modulación y la velocidad de ruptura en dientes (Aguilera & Lillford, 2008). La textura está relacionada con la percepción sensorial de los atributos mecánicos y la microestructura de un alimento (figura 9.4).

Figura 9.4. Parámetros involucrados en la textura durante el proceso oral

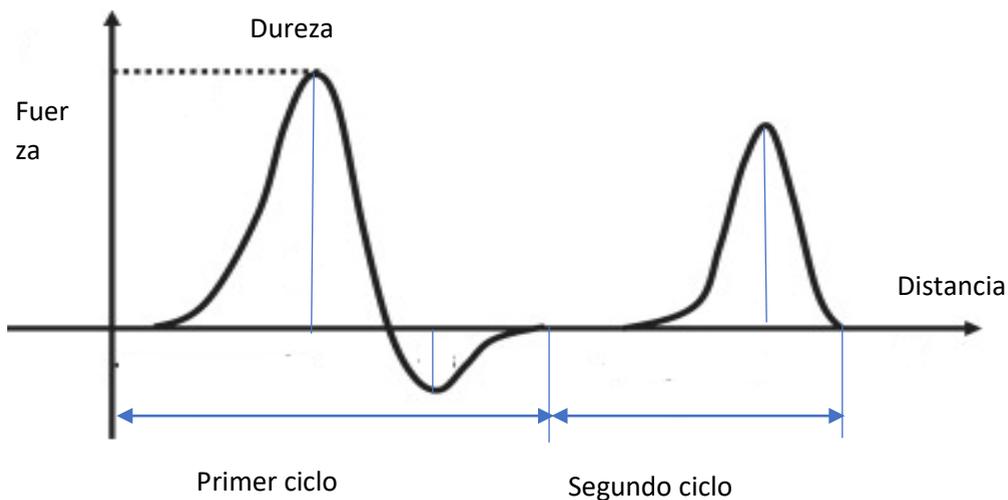


La textura es uno de los factores más importantes que determinan la elección de los alimentos, especialmente en el caso de los alimentos con texturas semisólidas o sólidas. Hay tres conceptos importantes, según Szczesniak (2002b): La textura es: 1) una propiedad sensorial de los alimentos percibida por los seres humanos, que puede implicar varios

sentidos; 2) una propiedad multiparamétrica; y 3) se origina en la estructura de los alimentos a diferentes escalas de longitud (molecular, microscópica y macroscópica).

Algunos atributos, como la dureza o la firmeza, son relativamente menos complejos y pueden explicarse por medio de propiedades mecánicas. Algunos términos como adhesividad, cohesión, cremosidad, ternura y jugosidad son más complejos y no están directamente relacionados con una medida mecánica. Estas propiedades tienen su origen en las sensaciones relacionadas con las propiedades de volumen (reológicas), de superficie (adhesivas) y de fricción (tribológicas) de un alimento cuando se somete a un procesamiento oral para producir un bolo capaz de ser tragado y requiere elementos dinámicos de varias propiedades materiales y percepciones sensoriales (Pascua *et al.*, 2013). Debido a que en la textura implica diversas categorías, semisólidos y sólidos, para estos últimos dio lugar a un método instrumental de descripción de la textura conocido como análisis de perfil de textura (TPA de sus siglas en inglés) (Szczesniak, 2002b). El análisis de TPA, es uno de los métodos más empleados para medir las características de los alimentos. Este método se basa en un doble ciclo de compresión de una muestra con dimensiones específicas, que imita la acción de las mandíbulas y se tienen los siguientes parámetros para la evaluación de la textura: dureza, cohesividad, adhesividad, elasticidad, gomosidad, masticabilidad y resiliencia (figura 9.5). El análisis del perfil de textura (TPA) establece un “puente” entre la medición objetiva y la sensación subjetiva y hace que las características de la textura de los alimentos sean más predecibles (Chen & Opara, 2013).

Figura 9.5. Representación gráfica de un análisis TPA. El análisis de relaciones entre las áreas de las curvas y las distancias de los picos representan varios parámetros tales como: cohesividad, masticabilidad, gomosidad o adhesividad, entre otras. El pico máximo, en el primer ciclo, indica la dureza de un alimento.



Los métodos instrumentales, como el análisis de textura, son una forma de evaluar un producto lácteo, aunque es deseable que se complemente con un análisis de evaluación sensorial, porque con base en esta última un producto puede ser perfeccionado, con el propósito de evitar un potencial rechazo por el futuro consumidor. En el CIATEJ contamos con un texturómetro como el mostrado en la figura 9.6.

Figura 9.6. Texturómetro ubicado en el laboratorio de análisis de alimentos del CIATEJ.



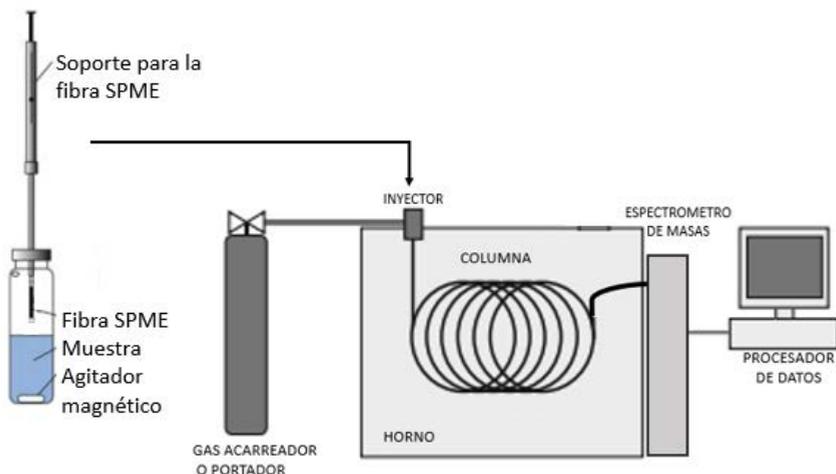
9.4 Identificación de compuestos volátiles por cromatografía de gases espectroscopía de masas y micro extracción en fase sólida (SPME-GC-MS)

El olor y el aroma siguen siendo criterios básicos en la decisión de compra y/o consumo de la leche y productos lácteos, en esta gama de productos, encontramos una gran diversidad de olor o aroma dependiendo de diversos factores como el tipo de producto (leche, queso, bebida fermentada o un postre) o el tratamiento llevado a cabo (ninguno, hervido, pasteurizado, ultra pasteurizado o de altas presiones) como se procesó (industrial o artesanalmente) entre otros factores que influyen para rechazarlo o volverlo a consumir (Jimenez-Alvarez *et al.*, 2008; Tunick *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2011) .

Los pequeños cambios de olor y aroma que se perciben en los productos lácteos son el resultado de la presencia o de la concentración de los compuestos volátiles, los cuales se pueden definir como un compuesto de bajo peso molecular, capaz de evaporarse a presión y temperatura ambiental (Pino-Alea, 1995). Tanto la presencia como la concentración se pueden medir utilizando las diferentes técnicas, comúnmente, la medición de estos compuestos se realiza siguiendo un proceso de extracción-concentración-separación-identificación-cuantificación.

Para la extracción de compuestos volátiles se pueden utilizar diferentes técnicas, como la extracción líquido-líquido, líquido sólido o sólido-líquido. También, se pueden extraer por concentración mediante la evaporación. La separación se hace en columnas que pueden ser empacadas o capilares normalmente con un recubrimiento polimérico, la identificación puede ser por medio de estándares de referencia, o por medio de una biblioteca de compuestos, tomando en cuenta el tiempo de elusión del compuesto. Un sistema para la extracción-cuantificación de compuestos muy utilizado en muestras lácteas es la micro extracción en fase sólida con cromatografía de gases acoplado a masas (SPME-CG-MS) cuyo esquema se presenta en la figura 9.7 (Pino-Alea, 1995; Tunick *et al.*, 2013).

Figura 9.7. Esquema del sistema SPME-GC-MS para la obtención de compuestos volátiles, los cuales son responsables de los aromas y sabores de los productos lácteos.



La micro extracción en fase sólida (abreviada SPME por sus siglas en inglés) es una técnica analítica que utiliza segmentos pequeños de una fibra de sílice fundida con recubrimiento de polímero (fase polimérica), se basa en el equilibrio entre los compuestos en la fase acuosa o gaseosa y en la fase polimérica; por tanto, la partición entre las fases se encuentra regida por una constante de distribución entre el polímero y la muestra. Existen diferentes tipos de recubrimientos poliméricos, cada uno con diferente selectividad por los analitos (Lord & Pawliszyn, 2000) y es útil para la extracción de compuesto volátiles y permite la subsiguiente introducción a un sistema cromatográfico. Para la obtención de estos compuestos se requiere primero extraerlos de la muestra exponiendo la fibra en la fase gaseosa del vial que contiene la muestra, previamente llevada a equilibrio, durante un tiempo definido, una vez transcurrido ese tiempo, se procede a la desorción térmica de los analitos utilizando el puerto de inyección del cromatógrafo en el cual se hará la separación de compuestos

La cromatografía es un método de separación de compuestos basado en su distribución, entre una fase móvil (gas) y una fase estacionaria (columna), existen varios tipos de cromatografía, como cromatografía de

papel, cromatografía de placa, cromatografía de columna, cromatografía contracorriente, cromatografía de líquidos de alta resolución, cromatografía de gases, etcétera. Los equipos de cromatografía de gases (CG), están conformados principalmente por: inyector, horno, detector y registrador. El inyector es el puerto de entrada de la muestra al cromatógrafo, es el lugar en donde los compuestos se evaporan para iniciar su recorrido a través de la columna impulsados por el gas acarreador, aquí se separan por la interacción (adsorción, solubilidad, carga iónica, tamaño e interacción selectiva), tanto con la columna como con el gas acarreador, estas interacciones definen el tiempo que los compuestos llegan al detector, conocido como el tiempo de retención (TR) formando el cromatograma (figura 9.8), esto permite la identificación del compuesto, correlacionándolo con el tiempo de retención de un compuesto puro, detectado bajo las mismas condiciones, otra forma de identificar un compuesto es mediante la detección por espectrometría de masas.

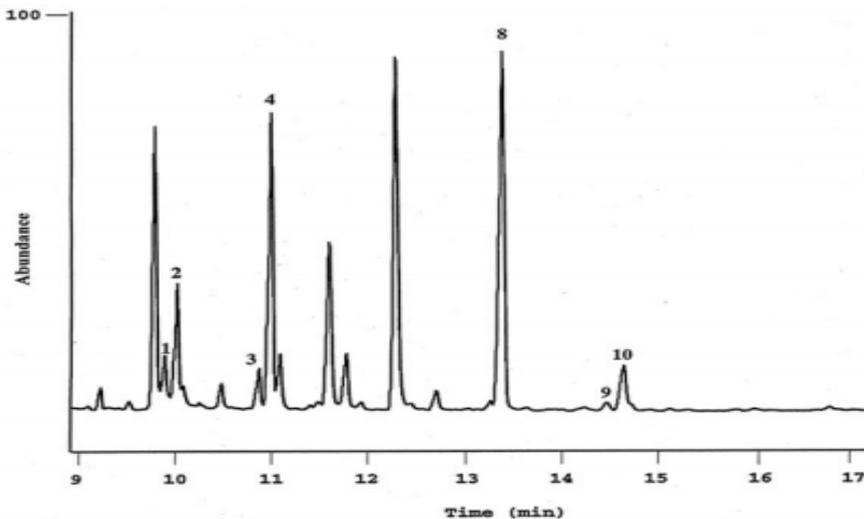


Figura 9.8. Cromatograma con compuestos de interés, cada uno de los picos enumerados representa un compuesto volátil diferente presente en la muestra.

La espectrometría de masas es una técnica instrumental de alta sensibilidad, basada en la ionización de las moléculas y en la separación y registro de los iones producidos según su relación masa/carga (m/z) en un sistema a vacío. Los iones que llegan al detector producen una señal eléctrica que es ampliada, procesada y registrada en una computadora, dando lugar al correspondiente espectro de masas que es la representación gráfica de la abundancia de los iones detectados en función de su relación m/z , además de que permite una cuantificación relativa del compuesto.

La cuantificación de los compuestos volátiles se puede hacer utilizando una estandarización externa, en donde se construye una curva de calibración con compuestos volátiles puros (estándares) de concentración conocida. Se cuantifica por comparación de la señal obtenida con la de los estándares. Otra forma de hacerlo es la estandarización interna, para lo cual se agrega una cantidad conocida de un compuesto puro con estructura química y tener un tiempo de retención similar a éste o los compuestos volátiles a cuantificar, se debe estar seguro de que no se encuentra en la muestra. La estandarización interna, es muy útil como parámetro analítico independientemente de las variaciones en el sistema ya que la relación entre la respuesta del detector al compuesto de la muestra y al estándar interno, prácticamente se mantiene constante por ser afectados por las mismas condiciones. Es importante destacar la diferencia que existe entre el método de patrón interno y el método de adición de estándar. En el primer caso, la sustancia que se introduce es diferente al analito. En el segundo, la sustancia patrón adicionada es igual al analito. Al aplicar esta metodología para evaluar la composición volátil en los productos lácteos, se puede observar que, aunque existen varios factores que afectan composición volátil, como el proceso de elaboración, el medio ambiente, el envase, las condiciones de almacenamiento entre otros. Por citar un ejemplo: el inoculo, agregado a los lácteos fermentados como el kéfir, yogur, jocoque, etcétera, que contiene los microorganismos que harán la fermentación etapa con gran influencia en las características finales del producto, durante la cual se producen cambios químicos en las sustancias orgánicas producidos por la acción de las enzimas provistas por organismos como bacterias y levaduras favoreciendo la formación de compuestos volátiles por actividad proteolítica y lipolítica.

Esta técnica permite evaluar cambios en un proceso obteniendo el perfil volátil de las muestras. Por ejemplo, el caso de la elaboración del

jocoque, se lograron identificar diferentes compuestos volátiles, los cuales se clasificaron por familia química y se encontraron: ésteres, alcoholes, terpenos, ácidos, cetonas, aldehídos, diversos, fenoles y furanos (figura 9.9). Algunos de estos compuestos impactarán fuertemente en el aroma y sabor del producto.

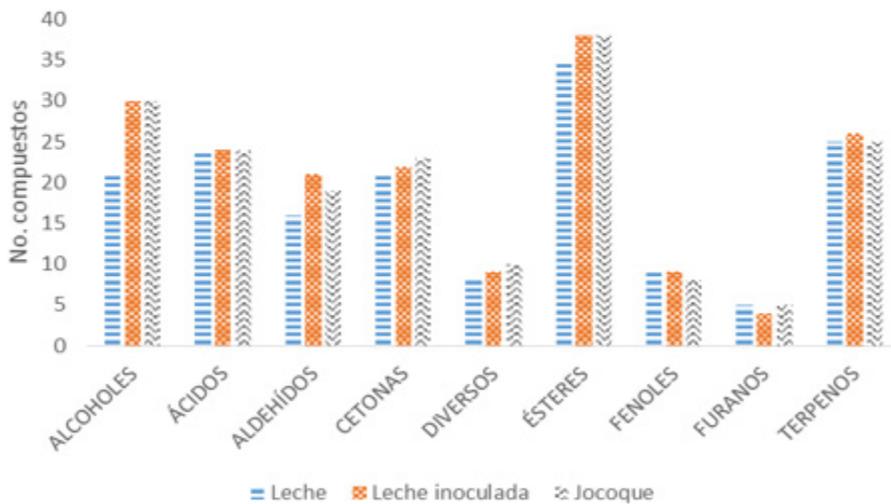


Figura 9.9. Ejemplo de una gráfica de compuestos volátiles encontrados en el proceso del jocoque (agrupados por familias químicas). Cada barra de diferente trama representa una región diferente de Jalisco.

Es factible utilizar algún compuesto volátil como marcador de calidad (Asaduzzaman, 2016). Así se tiene que la composición de la leche, el proceso de elaboración, el almacenamiento y la acción de microorganismos, tienen un efecto en la composición volátil y le confieren identidad al producto. Es importante determinar el umbral de detección, mediante la evaluación sensorial, metodología que proporciona información de la potencia del sabor de cada compuesto.

En el CIATEJ contamos con varios modelos de cromatógrafos de gases, como el mostrado en la figura 9.10, el cual es operado por especialistas altamente capacitados para la detección de compuestos volátiles presentes en diversos productos lácteos.

Figura 9.10. Cromatógrafo de gases, operado por una especialista, ubicado en el laboratorio de análisis de alimentos del CIATEJ.



9.5. Reología en productos lácteos.

La reología es la rama de la física que estudia de la deformación y el flujo de materiales. Es fundamental en la fabricación de alimentos para la comprensión del comportamiento de fluidos para poder transportarlos, calentarlos y mezclarlos durante su procesamiento y, debido a que determina la experiencia sensorial en el consumidor. La reología de fluidos es usada para describir la viscosidad (η), o la resistencia que tiene un fluido a moverse, la cual es una propiedad física de importancia crítica, por ejemplo, en la caracterización de bebidas lácteas ya que su conocimiento es elemental para su manejo industrial procesamiento y control de calidad (Ramírez-Sucre & Vélez-Ruiz, 2018). Para la medición de la viscosidad de una muestra láctea se utilizan los viscosímetros y reómetros modulares (figura 9.11), los cuales se operan en términos de velocidades de deformación y de ahí se obtiene posteriormente el parámetro de viscosidad. Estos equipos se han utilizado en la medición y cálculo de las propiedades de bebidas lácteas saborizadas en el CIATEJ.

Figura 9.11. Equipos y detalles de operación de un reómetro modular (DHR-2, TA Instruments) utilizado en la medición de propiedades reológicas de productos lácteos. Fuente: Cortesía del Laboratorio de Tecnología Alimentaria, CIATEJ Sede Sureste.



Un ejemplo clásico de aplicación de la reología es en el desarrollo de nuevas bebidas lácteas, ya que es una alternativa a la producción de leche. La industria láctea, con el fin de fomentar el consumo de bebidas lácteas en la dieta, incorpora nutrientes, microorganismos o sabores para mejorar la sensación en el consumidor final. Las leches saborizadas son formuladas con leche, glucosa (más recientemente con edulcorantes), cacao en polvo, sólidos lácteos e hidrocoloides; estos últimos son adicionados para mejorar la consistencia en boca y la viscosidad del sistema. Asimismo, las características del sistema formulado como contenido graso, alcalinidad, color así como el tipo y concentración de hidrocoloides (o gomas), producen características representativas de las marcas de la leche cuya calidad es buscada por el consumidor con el fin de mantener esta calidad. La formulación se modifica mediante la adición de combinaciones de gomas cuyo efecto sinérgico minimice la separación de fases y confiera mayor estabilidad, previniendo la sedimentación de partículas, y una mejor consistencia a la bebida.

Las gomas son moléculas de polisacáridos de alto peso molecular con características hidrofílicas o hidrofóbicas que tienen propiedades coloidales que incrementan la viscosidad. Algunas gomas de uso son las carrageninas, las galactomanas, la goma guar, arábica o xantano y otras obtenidas por modificación química de productos vegetales como la carboximetilcelulosa (Pasquel, 2001).

En un trabajo reciente realizado en CIATEJ se elaboró leche saborizada (figura 9.12), los reogramas obtenidos con distintas proporciones de goma se pueden apreciar en la figura 9.13, obteniéndose intervalos de esfuerzo cortante desde <1 Pa hasta 12 Pa aprox. en una rampa de velocidades de deformación de 5 a 25 $1/s$ (Ramírez-Sucre M. O. *et al.*, 2018) con comportamientos bien ajustados por la ecuación de Newton ($h=t/g$, donde t es el esfuerzo cortante y g las velocidades de deformación), obteniéndose viscosidades entre 0.122 y 0.553 Pa s, siendo la relación xantano-guar la mejor combinación de gomas para la obtención de una mayor viscosidad (tabla 9.1). La combinación de gomas y su adición al sistema lácteo, contribuyó a la estabilidad de la leche saborizada, incrementando la vida de anaquel y mejorando su calidad medida como la viscosidad/consistencia.

Figura 9.12. Leches saborizadas en el CIATEJ listas para ensayos de reología.



Figura 9.13. Reogramas de leche saborizada adicionada con goma xantano (XA) y distintas proporciones de otras gomas guar (GU), senegal (SE) y almidón modificado (AL). Pruebas en viscosímetro (LVDV-III, Brookfield). La variabilidad mostrada se debe al efecto de las gomas utilizadas en la elaboración de las distintas muestras.

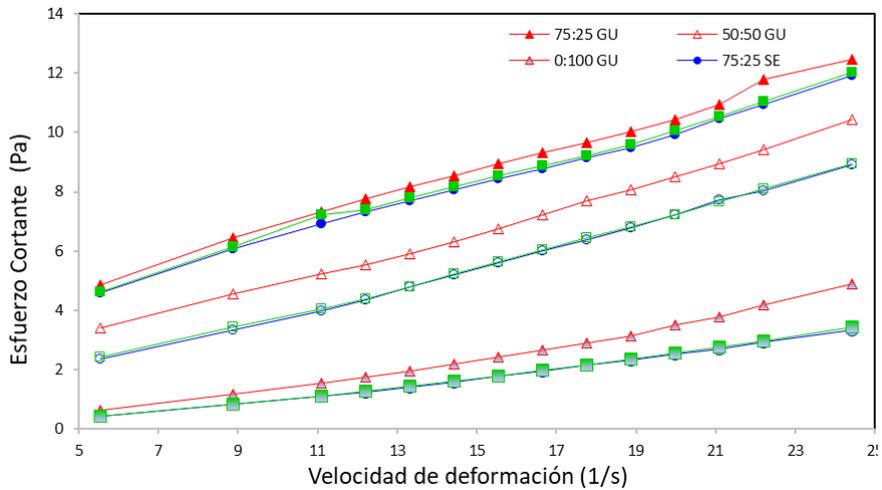


Tabla 9.1 Viscosidad (η) de leches saborizadas elaboradas a nivel planta piloto del CIATEJ

Muestra	Goma(s) ^a	η (Pa s)	R ²
GU1	XA:GU (75:25) ^b	0.553	0.991
GU2	XA:GU (50:50) ^b	0.435	0.998
GU3	XA:GU (0:100) ^b	0.171	0.987
SE1	XA:SE (75:25) ^b	0.523	0.991
SE2	XA:SE (50:50) ^b	0.362	0.999

SE3	XA:SE (0:100) ^b	0.122	0.991
AL1	XA:AL (75:25) ^b	0.529	0.99
AL2	XA:AL (50:50) ^b	0.364	0.999
AL3	XA:AL (0:100) ^b	0.122	0.991

^aGomas: XA=xantano, GU=guar, SE=Senegal, AL=almidón modificado, CA=carragenina (no especifica el tipo), MD=maltodextrina, CMC=carboximetilcelulosa. ^b Cantidades en porcentaje. El 100% es equivalente a 1.2g/kg de goma sola o combinada, máximo total permitido (CODEX Alimentario).

Otra aplicación importante de las mediciones reológicas se presenta en el cuidado de calidad del yogur, el cual es un producto lácteo ampliamente consumido en México. En este producto las propiedades de viscosidad están ampliamente relacionadas con los ingredientes y los procesos utilizados en su producción (figura 9.14). Varios factores como los sólidos totales, la composición de la leche, la homogeneización, el tipo de cultivo, la acidez, el grado de proteólisis y el pretratamiento térmico de la leche influyen en las propiedades reológicas del yogur. La textura es una de las características más importantes que define la calidad del yogur y afecta su apariencia, sensación en boca y aceptabilidad general.

Figura 9.14. Representación de un yogur comercial.



Los defectos más frecuentes relacionados con la textura del yogur, que provocan el rechazo del consumidor, son las aparentes variaciones de viscosidad y la aparición de sinéresis. Estos cambios pueden deberse a variaciones en la composición de la leche, así como a cambios en las condiciones de procesamiento, incubación y almacenamiento. La caracterización de la textura del yogur es importante para el desarrollo de productos y procesos, el control de calidad y para garantizar la aceptabilidad del consumidor. Esta caracterización se puede realizar utilizando medidas instrumentales.

9.6. Productos y aplicaciones basados en las técnicas de análisis mostradas

En la tabla 9.2 se muestran algunos productos desarrollados en el CIATEJ, ya sea académicos o de trabajos realizados a clientes, utilizando las técnicas analíticas explicadas en este capítulo.

Tabla 9.2 Algunos productos obtenidos en donde han sido utilizadas las técnicas de análisis descritas en este capítulo.

Cromatografía de gases	Perfil de los compuestos volátiles en queso fresco.	Artículo. López Ramírez y col. (2017). Perfil de la composición volátil de quesos frescos producidos en el occidente de México. estudio preliminar. Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos, 328-333.
Reología	Determinación de propiedades de viscosidad en leches saborizadas comerciales y reformulación.	Reporte técnico. Proyecto para cliente para aplicación a nivel industrial.
Reología	Determinación de parámetros reológicos y reformulación con gomas naturales en leches pasteurizadas sabor chocolate.	Reporte técnico. Proyecto para cliente para aplicación a nivel industrial.
Espectroscopía de infrarrojo (FTIR)	Caracterización de la concentración de la leche fluída.	Patente. MX 334157 B "Patente de barra nutritiva a partir de leche fluída y el proceso de elaboración". 2015-CIATEJ.
Textura.	Propiedades de textura en producto terminado (queso crema).	Artículo. Salazar-Pérez y col. (2017). Efecto de la incorporación de crema (pH y acidez) durante el desarrollo de queso crema y su impacto en las propiedades de textura. C-BQA, 322-326.
Cromatografía de gases	Determinación de compuestos volátiles.	Artículo. López-Ramírez y col. (2018). Exploración del efecto del proceso fermentativo sobre la reología, composición volátil y microbiota ácido- láctica del jocoque artesanal de los altos de Jalisco. Academia Journals.

Cromatografía de gases y FTIR.	Caracterización de compuestos primarios (proteínas y lípidos). Determinación de compuestos volátiles.	Artículo. López-Ramírez y col. (2017). Efecto del tratamiento térmico y tipo de inóculo en las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del jocoque. C-BQA, 363-370.
--------------------------------	---	--

9.7 Conclusión

En este capítulo fueron explicadas cuatro técnicas de análisis de gran importancia para estudiar la calidad composicional y de comportamiento físico-químico de distintos productos lácteos. Por medio de la espectroscopía de infrarrojo es posible detectar la composición mayoritaria en productos lácteos, principalmente, la humedad, los lípidos, las proteínas y los carbohidratos (lactosa). Con el análisis de textura es posible medir las propiedades físicas de las muestras y relacionarlas con el comportamiento sensorial en boca, por ejemplo, la dureza o masticabilidad. La cromatografía de gases permite medir la fracción volátil contenida en los lácteos y asociarla con los niveles de su olor y aroma. Por último, la reología permite el conocimiento relacionado con la capacidad de fluir de un producto lácteo, el cual se encuentra íntimamente ligado con la composición química, principalmente mediante la adición de espesantes, dispersantes o de ingredientes mejoradores de su viscosidad.

9.8 Bibliografía

- Aguilera, J. M., & Lillford, P. J. (2008). Structure-property relationships in foods. En *Food Materials Science: Principles and Practice* (pp. 229–253). Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-0-387-71947-4_12
- Allen Foegeding, E., Çakir, E., & Koç, H. (2010). Using dairy ingredients to alter texture of foods: Implications based on oral processing considerations. En *International Dairy Journal* (Vol. 20, Issue 9, pp. 562–570). <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2009.12.013>
- Asaduzzaman, M. B. F. C. M. S. mateo. (2016). Hexanal as biomarker for milk oxidative stress induced by copper ions | *Elsevier Enhanced Reader*. 100. <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0022030217300115?token=5D3954B446649EA279D14828F8DA744FD41B90F48C034A545184E6B62AC7C4B73682F693CC801D44B679F03584768235&originRegion=us-east-1&originCreation=20210624010317>
- Beć, K. B., Grabska, J., & Huck, C. W. B. T.-C. A. C. (2020). *Physical principles of infrared spectroscopy*. Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/bs.coac.2020.08.001>
- Chen, L., & Opara, U. L. (2013). Approaches to analysis and modeling texture in fresh and processed foods - A review. En *Journal of Food Engineering* (Vol. 119, Issue 3, pp. 497–507). <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.06.028>
- Cornacchia, L., Forquenot de la Fortelle, C., & Venema, P. (2014). Heat-Induced Aggregation of Whey Proteins in Aqueous Solutions below Their Isoelectric Point. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 62(3), 733–741. <https://doi.org/10.1021/jf404456q>
- Ercili-Cura, D., Huppertz, T., & Kelly, A. L. (2015). Enzymatic modification of dairy product texture. En *Modifying Food Texture: Novel Ingredients and Processing Techniques* (pp. 71–97). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-333-1.00004-8>
- Fernández-Pierna, J. A., Lecler, B., Conzen, J. P., Niemoeller, A., Baeten, V., & Dardenne, P. (2011). Comparison of various chemometric approaches for large near infrared spectroscopic data of feed and feed products. *Analytica Chimica Acta*, 705(1), 30–34. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aca.2011.03.023>

- Jimenez-Alvarez, D., Giuffrida, F., Golay, P.-A., Cotting, C., Destailats, F., Dionisi, F., & Keely, B. (2008). (No Title). *Eur. J. Lipid Sci. Technol*, 110, 277–283. <https://doi.org/10.1002/ejlt.200700148>
- Lord, H., & Pawliszyn, J. (2000). Evolution of solid-phase microextraction technology. In *Journal of Chromatography A* (Vol. 885, Issues 1–2, pp. 153–193). Elsevier. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(00\)00535-5](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(00)00535-5)
- Pascua, Y., Koç, H., & Foegeding, E. A. (2013). Food structure: Roles of mechanical properties and oral processing in determining sensory texture of soft materials. In *Current Opinion in Colloid and Interface Science* (Vol. 18, Issue 4, pp. 324–333). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2013.03.009>
- Pasquel, A. (2001). Gomas: Una aproximación a la Industria de alimentos. *Revista Amazónica de Investigación Alimentaria*, 1(1), 1–8.
- Pino-Alea, J. (1995). Principios y métodos para el análisis del aroma en los alimentos | ISBN 978-959-7003-04-5 - Libro. <https://isbn.cloud/9789597003045/principios-y-metodos-para-el-analisis-del-aroma-en-los-alimentos/>
- Ramírez-Sucre M. O., Chi-Colli L. V., & Gastélum-Martínez E. (2018). Análisis de comportamiento al flujo y color de bebidas comerciales lácteas sabor chocolate y homólogas. *Tlamati*, 9(2), 37–44. <http://tlamati.uagro.mx/t92/t926.pdf>
- Ramírez-Sucre, M. O., & Vélez-Ruiz, J. F. (2018). Efecto de la incorporación de estabilizantes en la viscosidad de bebidas lácteas no fermentadas. In M. T. Jimenez-Munguía, F. Vergara-Balderas, E. Mani-López, & M. E. Bárcenas-Pozos (Eds.), *Tendencias en la Ciencia de Alimentos* (pp. 273–288). Colección Sapientia UDLAP (Escuela de Ingeniería). <https://tiendauniversitaria.udlap.mx/collections/libros/products/tendencias-en-la-ciencia-de-alimentos>
- Beć, K. B., Grabska, J., & Huck, C. W. B. T.-C. A. C. (2020). Physical principles of infrared spectroscopy. Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/bs.coac.2020.08.001>
- Fernández-Pierna, J. A., Lecler, B., Conzen, J. P., Niemoeller, A., Baeten, V., & Dardenne, P. (2011). Comparison of various chemometric approaches for large near infrared spectroscopic data of feed and feed products. *Analytica Chimica Acta*, 705(1), 30–34. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aca.2011.03.023>

- Pino-Alea, J. (1995). Principios y métodos para el análisis del aroma en los alimentos | ISBN 978-959-7003-04-5 - Libro.
- Shenk, J. S., Westerhaus, M. O., & Berzaghi, P. (1997). Investigation of a Local Calibration Procedure for near Infrared Instruments. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 5(4), 223–232. <https://doi.org/10.1255/jnirs.115>
- Tunick, M. H., Iandola, S. K., & Van Hekken, D. L. (2013). *Comparison of SPME Methods for Determining Volatile Compounds in Milk, Cheese, and Whey Powder*. 2, 534–543. <https://doi.org/10.3390/foods2040534>
- Szczesniak, A. S. (2002a). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13(4), 215–225. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(01\)00039-8](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(01)00039-8)
- Szczesniak, A. S. (2002b). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13(4), 215–225. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(01\)00039-8](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(01)00039-8)
- Tunick, M. H., Iandola, S. K., & Van Hekken, D. L. (2013). *Comparison of SPME Methods for Determining Volatile Compounds in Milk, Cheese, and Whey Powder*. 2, 534–543. <https://doi.org/10.3390/foods2040534>
- Zhang, S., Yang, R., Zhao, W., Hua, X., Zhang, W., & Zhang, Z. (n.d.). *Influence of Pulsed Electric Field Treatments on the Volatile Compounds of Milk in Comparison with Pasteurized Processing*. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01916.x>

Capítulo 10

Normatividad obligatoria y voluntaria para leche y sus derivados

Ramírez-Cerda, Elsa L.^{1}
Reyes-Arreguín, Blanca R.²
Soltero-Gardea, Sergio³*

10.1 Introducción

El sector lechero al igual que todos los relacionados con la alimentación, está sujeto a ordenamientos oficiales tanto de tipo sanitario como comercial, los cuales ejercen control directo sobre los productos y procesos productivos, sin embargo, no son las únicas disposiciones que deben considerarse, ya que existen otras regulaciones que establecen requisitos en cuestiones de seguridad e higiene de los trabajadores y cuidados al medio ambiente.

En el año 2014 se crea la Comisión Ejecutiva para la Competitividad Ganadera de la Cadena Bovinos Leche (CEBL) para atender el tema. Cuenta con participación del sector público y del sector privado y está integrada con nueve grupos de trabajo los cuales tienen la responsabilidad de realizar las tareas que eventualmente, deriven en propuestas que permitan mejorar el desempeño y la rentabilidad de la cadena de la leche en México.

Como resultado de este grupo se publica un diagnóstico sobre la situación de la normalización en la cadena de la leche y su relación con la evaluación de la conformidad, es decir, la evaluación del grado de

¹ Gestión de Calidad. Dirección General. Subsele Normalistas. Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco. Camino Arenero 1227, el Bajío. C.P. 45019. Zapopan, Jalisco, México. eramirez@ciatej.mx. *Corresponding author.

² Consejo para el fomento de la Calidad de la Leche y sus Derivados COFOCALEC, Calle Simón Bolívar 446, Col Americana, Obrera, 44140 Guadalajara, Jalisco, México normalizacion@cofocalec.org.mx.

³ Consejo para el fomento de la Calidad de la Leche y sus Derivados COFOCALEC, Calle Simón Bolívar 446, Col Americana, Obrera, 44140 Guadalajara, Jalisco, México direcciongral@cofocalec.org.mx

cumplimiento de las normas (CEBL, 2015). En el primer tema se resumen los aspectos importantes de este estudio y se complementa con los últimos productos publicados y su impacto al sector.

En el año 2020 se dieron dos grandes cambios en materia regulatoria-normativa que se abordan en el segundo y tercer tema:

El 27 de marzo se publicaron las modificaciones de la Norma Oficial Mexicana NOM-051-SCFI/SSA1-2010, las cuales trajeron consigo cambios no sólo en la información declarada en el envase, sino un replanteamiento para las empresas fabricantes de alimentos y bebidas sobre los ingredientes y su cantidad en la formulación.

El 30 de agosto entró en vigor la Ley de Infraestructura de la Calidad (LIC) que busca actualizar el marco normativo que durante 28 años estuvo supeditado por la Ley Federal de Metrología y Normalización. Considera nuevas disposiciones que reformulan el sistema de normalización, estandarización, evaluación de la conformidad y metrología en México, las cuales se resumen en este capítulo.

En la última sección se cuenta con un listado de las normas y estándares aplicables al sector lácteo vigentes a la fecha de publicación para facilitar al sector lácteo su disposición.

10.2 Contexto nacional e internacional. Organismos normativos.

El sector lechero del país atiende a un mercado de aproximadamente 130 millones de mexicanos, que demandan leche y productos lácteos de calidad e inocuos, es decir que no le causen un daño a la salud. Para lograrlo, se requiere de disposiciones normativas que regulen todos los aspectos relacionados con la producción y obtención de leche, transporte, procesos, productos, así como la comercialización de estos.

Este marco normativo o regulatorio de la cadena de la leche ha cambiado de manera significativa en los últimos 25 años, gracias en parte a la apertura comercial del país, a la evolución del mercado y al crecimiento de la demanda debido al aumento de la población.

La normalización en México adquiere un impulso significativo a partir de su integración a la Organización Mundial del Comercio (OMC), antes Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio (GATT, por sus siglas en inglés), y posteriormente con la propuesta del Tratado

de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), considerando que los esquemas de intercambio comercial contemplan la aplicación de reglas claras, para asegurar la equidad entre los países participantes. En este sentido, las Normas Internacionales y las Normas Nacionales que aplican a cada uno de los países que participan en el comercio de productos y servicios vienen a ser un soporte valioso, pues es en ellas en donde se establecen las particularidades que, los países que llevan a cabo una actividad comercial se obligan a respetar para evitar obstáculos a la misma.

De acuerdo con la Ley de Infraestructura de la Calidad (LIC), que abrogó a la Ley Federal sobre Metrología y Normalización (DOF 01/07/20, n.d.), en México se tienen Normas Oficiales Mexicanas (NOM), estándares (antes Normas Mexicanas NMX) y se reconocen las Normas Internacionales, las cuales son elaboradas por un organismo internacional de normalización que cumple con los principios y procedimientos reconocidos en los tratados internacionales de los que el Estado Mexicano es parte. Las NOM son elaboradas por la autoridad normalizadora, es decir las dependencias de la administración pública federal, los estándares por Organismos de Estandarización, sin embargo, debido a que todavía no se ha publicado el Reglamento de la LIC, los Organismos Nacionales de Normalización (ONN) pueden seguir elaborando, modificando y/o cancelando las Normas Mexicanas vigentes, atendiendo a lo dispuesto en los artículos 29 y Transitorios Tercero, Cuarto, Octavo y Noveno del Decreto por el que se expidió la Ley de Infraestructura de la Calidad. Actualmente, el gobierno mexicano tiene registrados a 10 Organismos Nacionales de Normalización (tabla 10.1.1).

Tabla 10.1. Organismos Nacionales de Normalización que cuentan con registro de la Dirección General de Normas, de la Secretaría de Economía (31/03/2017, 2017).

Organismo Nacional de Normalización	Núm. de Registro	Fecha/Contacto
Sociedad Mexicana de Normalización y Certificación, S.C. (NORMEX)	0001	8 de diciembre de 1993 normas@normex.com.mx
Instituto Mexicano de Normalización y Certificación, A.C. (IMNC)	0002	1 de marzo de 1994 normalizacion@imnc.org.mx
Asociación de Normalización y Certificación, A.C. (ANCE)	0003	8 de abril de 1994 ance@ance.org.mx
Instituto Nacional de Normalización Textil, A.C. (INNTEX)	0004	25 de noviembre de 1994 rpineda@canaive.org.mx

Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, S.C. (ONNCCE)	0005	30 de noviembre de 1994 onnccce@mail.onncce.org.mx
Normalización y Certificación Electrónica, A.C. (NYCE)	0006	25 de septiembre de 1995 cnapolos@nyce.org.mx
Consejo para el Fomento de la Calidad de la Leche y sus Derivados, A.C. (COFOCALEC)	0007	11 de junio de 2002 normalizacion@cofocalec.org.mx
Centro de Normalización y Certificación de Productos, A.C. (CNCP)	0008	31 de octubre de 2003 agmarban@cncp.org.mx
Cámara Nacional de la Industria del Hierro y del Acero (CANACERO)	0009	29 de julio de 2005 jresendiz@canacero.org.mx
Underwriters Laboratories (UL)	0010	20 de febrero de 2020 ULstandardsMexico@ul.org

En términos de cumplimiento, las Normas Oficiales Mexicanas son obligatorias y su incumplimiento ocasiona sanción por parte de la autoridad responsable, mientras que las Normas Mexicanas, próximamente estándares, son de observancia voluntaria, excepto en aquellos casos en que sean referidas por una NOM.

En el caso de las Normas Internacionales el gobierno mexicano sólo reconocía a las normas emitidas por la Organización Internacional de Estandarización y la Comisión Electrotécnica Internacional (ISO/IEC, por sus siglas en inglés), del Codex Alimentarius, y las de la Comisión Panamericana de Normas Técnicas (COPANT). Sin embargo, en 2017 se actualizó la relación de organismos internacionales de normalización, incrementándose a 17 (tabla 10.2).

Tabla 10.2. Relación de Organismos Internacionales de Normalización reconocidos por el gobierno de México, de acuerdo con el Diario Oficial de la Federación (31/03/2017, 2017).

Organismo Internacional de Normalización	Contacto
Codex alimentarius ONU-FAO/OMS	http://www.codexalimentarius.org/codex-home/es/
Comisión Electrotécnica Internacional (IEC).	http://www.iec.ch/
Comisión Internacional de Grandes Presas (CIGB-ICOLD)	http://www.icold-cigb.net/
Comisión de Medidas Fitosanitarias de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (CIPF)	https://www.ippc.int/index.php?L=1
Cooperación Internacional para la Trazabilidad en la Química Analítica (CITAC)	http://www.citac.cc/
Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE)	http://www.oie.int/es/
Organización Hidrográfica Internacional (OHI)	http://www.iho.int/srv1/
Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA)	http://www.iaea.org/
Organización de Aviación Civil Internacional (OACI)	http://www.icao.int/Pages/default.aspx

Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM).	http://www.bipm.org/en/home/
Organización Internacional de Metrología Legal (OIML)	http://www.oiml.org/index.html?langue=es
Organización Marítima Internacional (OMI)	http://www.imo.org/Pages/home.aspx
Organización Mundial de Aduanas (OMA)	http://www.wcoomd.org/home.htm
Organización Mundial de la Salud (OMS)	http://www.who.int/es/
Organización Internacional de Normalización (ISO).	http://www.iso.org/iso/home.html
Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT)	http://www.itu.int/es/Pages/default.aspx
Unión Postal Universal (UPU).	http://www.upu.int/

En un análisis retrospectivo, en materia de leche y sus productos, antes de la década de los 90's, la disposición regulatoria que prevalecía era el reglamento de control sanitario de productos y servicios de la Ley General de Salud; sin embargo, con la inminente llegada del Tratado de Libre Comercio de Norteamérica, el gobierno federal aceleró la emisión de Normas Oficiales Mexicanas particularmente en aspectos relacionados con la salud animal, la salud humana e información comercial.

No fue sino hasta la segunda parte de los 90's, que se contó con la primera norma mexicana para la leche, la NMX-F-026-SCFI-1997, la cual establecía la denominación comercial de la leche y sus especificaciones fisicoquímicas. Desafortunadamente, la falta de normas de cumplimiento obligatorio favoreció que hubiera desorden el mercado, observándose la presencia de productos que se ostentaban como lo que no eran. Para atender este problema, la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SCFI), actualmente Secretaría de Economía, implementó el programa de verificación de la veracidad de la información comercial en los años 2000 al 2002. Los resultados de este programa derivaron en la elaboración de la primera NOM para la leche, la NOM-155-SCFI-2003.

En el año 2002, el Consejo para el Fomento de la Calidad de la Leche y sus Derivados (COFOCALEC) recibió el registro de la Dirección General de Normas como Organismo Nacional de Normalización (ONN), iniciando así un trabajo importante para dotar a la cadena de la leche del país con normas de calidad para equipos, procesos, productos y métodos de prueba, contando para ello con la valiosa colaboración de todas las partes interesadas, es decir de las organizaciones de productores, la industria, la academia e investigación, así como asociaciones de profesionales relacionados con el sector.

Durante 18 años, el ONN de COFOCALEC, a través de su Comité Técnico Nacional de Normalización y los Subcomités Técnicos de Normalización de Equipo, Procesos, Productos y Métodos de Prueba han elaborado 76 Normas Mexicanas, las cuales se encuentran distribuidas por tema, de acuerdo con la tabla 10.3.

Tabla 10.3. Normas Mexicanas elaboradas por el ONN de COFOCALEC durante el periodo 2002 a 2020.

Tema	Número de documentos normativos*
Equipo	8
Métodos de Prueba	36
Procesos	3
Productos	29
Total	76

* El catálogo completo de estas normas mexicanas se puede consultar en www.cofocalec.org.mx.

A pesar de lo anterior, las organizaciones de productores de leche han insistido en que es necesario contar con instrumentos regulatorios de cumplimiento obligatorio, a fin de poner orden en el mercado, ya que la proliferación de productos de imitación o análogos estaba generando perjuicios no sólo para el sector primario sino también para los consumidores. Por ello, en un diagnóstico elaborado por la Comisión Ejecutiva Bovinos Leche, (CEBL, 2015), se propuso la elaboración de las NOM's que hacían falta para lograr el ordenamiento del mercado, siendo estas la NOM de leche en polvo como materia prima, la NOM de denominación de quesos y la revisión de la NOM-181-SCFI-2010 de yogur, las cuales fueron concluidas en el año 2018.

10.3 Nueva ley de la infraestructura de la calidad

El 1 de julio de 2020 la Secretaría de Economía publicó en el Diario Oficial de la Federación el Decreto por el que se expide la Ley de Infraestructura de la Calidad y se abroga la Ley Federal sobre Metrología y Normalización (DOF 01/07/20, n.d.).

La Ley de Infraestructura de la Calidad es de orden público e interés social y sus disposiciones son de observancia general y obligatoria en todo el territorio nacional, sin perjuicio de lo dispuesto en los tratados

internacionales de los que Estados Unidos Mexicanos sean parte. Tiene por objeto fijar y desarrollar las bases de la política industrial en el ámbito del Sistema Nacional de Infraestructura de la Calidad, a través de las actividades de normalización, estandarización, acreditación, evaluación de la conformidad y metrología, promoviendo el desarrollo económico y la calidad en la producción de bienes y servicios, a fin de ampliar la capacidad productiva y el mejoramiento continuo en las cadenas de valor, fomentar el comercio internacional y proteger los objetivos legítimos de interés público previstos en la misma. Asimismo, esta ley tiene como finalidad:

1. Promover la concurrencia de los sectores público, social y privado en la elaboración y observancia de las normas oficiales mexicanas y los estándares;
2. Establecer mecanismos de coordinación y colaboración en materia de normalización, evaluación de la conformidad y metrología entre las autoridades normalizadoras, el centro nacional de metrología, los institutos designados de metrología, los organismos de acreditación y organismos de evaluación de la conformidad, las entidades locales y municipales, así como los sectores social y privado;
3. Propiciar la innovación tecnológica en los bienes, productos, procesos y servicios para mejorar la calidad de vida de las personas en todo el territorio nacional;
4. Impulsar la creación de mayor infraestructura física y digital para el adecuado desarrollo de las actividades de evaluación de la conformidad;
5. En materia de metrología, establecer y mantener el sistema general de unidades de medida, crear los institutos designados de metrología, y establecer lo referente a la metrología científica, metrología legal y la metrología aplicada o industrial, y
6. Fomentar y difundir las actividades de normalización, estandarización, acreditación, evaluación de la conformidad y metrología.

La Secretaría de Economía encabeza las acciones de política pública para fortalecer el Sistema Nacional de Infraestructura de la Calidad.

El Sistema Nacional de Infraestructura de la Calidad, tiene por objeto coordinar a las autoridades de todos los órdenes de gobierno en sus

respectivos ámbitos de competencia, a las Autoridades Normalizadoras, al Centro Nacional de Metrología, a los Institutos Designados de Metrología, a las Entidades de Acreditación, a los Organismos de Evaluación de la Conformidad, a los Organismos Nacionales de Estandarización y a los sujetos facultados para estandarizar, a través de regulaciones, estrategias y principios, para que la política nacional en materia de normalización, estandarización, evaluación de la conformidad y metrología, fomente la calidad y el desarrollo económico.

Los principios enunciados en esta Ley, sobre los que se sustenta el Sistema Nacional de Infraestructura de la Calidad, son: planeación, transparencia, integridad, certidumbre, eficiencia, agilidad, máxima publicidad, mejores prácticas internacionales, calidad, coherencia, sostenibilidad, trazabilidad de las mediciones e inclusión.

Para efectos de esta ley, se consideran como objetivos legítimos de interés público, los siguientes:

- La protección y promoción a la salud;
- La protección a la integridad física, a la salud, y a la vida de los trabajadores en los centros de trabajo;
- La protección a la producción orgánica, de organismos genéticamente modificados, sanidad e inocuidad agroalimentaria, acuícola, pesquera, animal y vegetal;
- La seguridad alimentaria;
- La educación y cultura;
- Los servicios turísticos;
- La seguridad nacional;
- La protección al medio ambiente y cambio climático;
- El uso y aprovechamiento de los recursos naturales;
- El sano desarrollo rural y urbano;
- Las obras y servicios públicos;
- La seguridad vial
- La protección del derecho a la información;
- La protección de las denominaciones de origen;
- Cualquier otra necesidad pública, en términos de las disposiciones legales aplicables.

Asimismo, se considera como un objetivo legítimo de interés público el cumplimiento con aquéllos señalados en los acuerdos y tratados internacionales suscritos por el Estado Mexicano.

La Ley de Infraestructura de la Calidad (LIC) se compone de: 4 Libros, 165 Artículos y 15 Transitorios. La tabla 10.4 muestra su distribución

Tabla 10.4. Título y artículos de los libros que conforman la LIC

Libro	Título	Artículos
Libro Primero	Del Sistema Nacional de Infraestructura de la Calidad	72
Libro Segundo	Del Sistema de Calidad e Innovación	22
Libro Tercero	Metrología	36
Libro Cuarto	Disposiciones finales	35
	Transitorios	15

En el Libro Primero, del Sistema Nacional de Infraestructura de la Calidad, se encuentran las disposiciones aplicables a las Autoridades Normalizadoras y al proceso de elaboración de Normas Oficiales Mexicanas.

Se entiende por Autoridad Normalizadora, a las dependencias o entidades competentes de la Administración Pública Federal que tengan atribuciones o facultades expresas para realizar actividades de normalización y estandarización.

Asimismo se entiende por Norma Oficial Mexicana, a la regulación técnica de observancia obligatoria expedida por las Autoridades Normalizadoras competentes cuyo fin esencial es el fomento de la calidad para el desarrollo económico y la protección de los objetivos legítimos de interés público previstos en este ordenamiento, mediante el establecimiento de reglas, denominación, especificaciones o características aplicables a un bien, producto, proceso o servicio, así como aquéllas relativas a terminología, marcado o etiquetado y de información. Las Normas Oficiales Mexicanas se considerarán como Reglamentos Técnicos o Medidas Sanitarias o Fitosanitarias, según encuadren en las definiciones correspondientes previstas en los tratados internacionales de los que el Estado mexicano es parte.

En el Libro Segundo, del Sistema de Calidad e Innovación, se establecen las disposiciones aplicables a los Organismos Nacionales de Estandarización y a los sujetos facultados para Estandarizar.

Los Organismos Nacionales de Estandarización son personas morales registradas ante la Secretaría de Economía, cuyo objetivo principal es la elaboración, modificación y cancelación de estándares, exclusivamente en la materia, ramas y sectores económicos sobre los que se les haya otorgado su registro.

Los sujetos facultados para estandarizar son personas morales, constituidas legalmente, que tienen un interés para la elaboración, modificación y cancelación de estándares. Las cámaras, instituciones académicas y de investigación, colegios y asociaciones, así como cualquier otra persona moral, siempre que acredite su interés ante la Secretaría de Economía podrá ser autorizada como sujeto facultado para estandarizar en la materia particular de que se trate.

La Secretaría de Economía deberá emitir anualmente los lineamientos para evitar la duplicidad en las labores de estandarización y publicará los registros otorgados a los Organismos Nacionales de Estandarización, así como las autorizaciones que otorgue a los sujetos facultados para estandarizar, en el Diario Oficial de la Federación y en la Plataforma Tecnológica Integral de Infraestructura de la Calidad.

Los estándares (denominados Normas Mexicanas de acuerdo a la Ley Federal Sobre Metrología y Normalización, ya derogada) son documentos técnicos que prevén un uso común y repetido de reglas, especificaciones, atributos o métodos de prueba aplicables a un bien, producto, proceso o servicio, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, marcado, etiquetado o concordaciones.

Por regla general los estándares son de aplicación voluntaria, excepto cuando se actualice cualquiera de los siguientes supuestos:

- Se requiera su observancia obligatoria mediante referencia expresa en una Norma Oficial Mexicana;
- Las autoridades de cualquier orden de gobierno establezcan como exigible un estándar en las disposiciones administrativas que emitan;
- Las dependencias y entidades públicas de cualquier orden de gobierno hagan exigible un estándar para los bienes o servicios que adquieran, liciten, arrienden o contraten;
- Las personas manifiesten que sus bienes, productos, procesos y servicios son conformes con los estándares, o
- Las leyes o reglamentos los establezcan como obligatorios.

Los estándares se deberán elaborar, adoptar y aplicar conforme a lo dispuesto en los tratados internacionales de los que el Estado Mexicano sea Parte y, en ningún caso, podrán contener especificaciones, características, valores, parámetros o requisitos menos estrictos a los establecidos en una Norma Oficial Mexicana.

Los estándares se clasifican, según se prevé en el Reglamento de la Ley de Infraestructura de la Calidad (LIC) y sin perjuicio de que la Comisión Nacional de Infraestructura de la Calidad amplíe y defina el uso de dicha clasificación, en: Industrial, Agrícola, Pecuaria, Medio ambiente, Energético, Comercial, De gestión, De metrología y General.

El Libro Tercero, de la Metrología, establece el sistema de metrología como parte del Sistema Nacional de Infraestructura de la Calidad, cuyo objetivo es procurar la uniformidad y confiabilidad de las mediciones que se realizan en el país y asegurar la comparabilidad de las mismas respecto de las realizadas en otros países, a través de la metrología científica, la metrología legal y la metrología industrial. El sistema de metrología se integra por el Centro Nacional de Metrología, los Institutos Designados de Metrología, las entidades de acreditación, los organismos de evaluación de la conformidad y demás entidades públicas o privadas que la Secretaría determine, con la opinión favorable del Centro Nacional de Metrología o de los Institutos Designados de Metrología.

La metrología legal está orientada a proteger al usuario o consumidor de un bien, producto o servicio, y es aplicada por las Autoridades Normalizadoras y los Organismos de Evaluación de la Conformidad, para garantizar el cumplimiento de requisitos establecidos en normas.

La metrología industrial persigue promover la competitividad industrial a través del aseguramiento de las mediciones, por medio de la calibración periódica de sus instrumentos de medición, contra patrones trazables al Sistema Internacional de Unidades de Medida, acompañada de buenas prácticas y procedimientos de medición los cuales inciden en la calidad de los bienes y servicios.

La metrología científica se ocupa de los problemas técnicos y experimentales de la medición, entre ellas: la definición de las unidades de medida y la custodia y mantenimiento de patrones, así como la investigación y desarrollo de nuevas técnicas de medición.

La importancia de la metrología radica en proporcionar el marco de referencia para hacer que toda iniciativa relacionada con la normalización sea factible.

El Libro Cuarto trata de: la Plataforma Tecnológica Integral de Infraestructura de la Calidad (que servirá como el principal medio de difusión y consulta de las Normas Oficiales Mexicanas, los estándares y patrones nacionales de medidas); los incentivos; la vigilancia del mercado, la verificación y vigilancia; las sanciones; y los recursos.

De acuerdo con lo establecido en los Transitorios Primero y Segundo, la Ley de Infraestructura de la Calidad entró en vigor el 30 de agosto de 2020, abrogando la Ley Federal sobre Metrología y Normalización publicada en el Diario Oficial de la Federación el 1 de julio de 1992 y sus reformas, asimismo se abrogan o derogan todas las disposiciones que se opongan a lo dispuesto en esta nueva Ley.

10.4 Especificaciones de etiquetado aplicables a los productos lácteos con base en la NOM-051-SSA1

Las etiquetas de los alimentos aportan información útil para conocer las características de los productos y pueden orientar a la hora de tomar una decisión para su compra. Deben estar elaboradas con los elementos indispensables exigidos por las leyes, normativas o regulaciones aplicables, teniendo especial cuidado para que lo declarado sea verídico y no confunda al consumidor.

La Norma Oficial Mexicana (NOM-051-SCFI/SSA1-2010, n.d.) fue publicada en el año 2010 y es la que determina la información comercial y sanitaria que deben contener las etiquetas de los alimentos preenvasados. Después de 10 años fue modificada sustancialmente para incluir el sistema de etiquetado frontal conformado por la información nutrimental complementaria (sellos de advertencia) y las leyendas precautorias.

10.4.1 Sistema de etiquetado frontal

En la modificación de la norma mexicana NOM-051 se contempla el uso de cinco sellos de advertencia en forma de octágono los cuales en su interior tiene la palabra “exceso” y que deben presentar los productos lácteos preenvasados y comercializados en territorio nacional, que contengan

añadidos nutrimentos críticos los cuales deben ser evaluados para determinar si en porción de 100 g o 100 ml exceden los niveles establecidos en la versión publicada el 27 de marzo de 2020 para el valor de energía, azúcares añadidos, grasas saturadas, grasas trans o sodio.

Se incorporan dos leyendas precautorias dirigidas a niños cuando el producto tenga añadidos, edulcorantes o cafeína, las cuales deben de colocarse en la parte superior derecha de la superficie principal de exhibición y en caso de que el producto preenvasado tenga sellos, deben ir debajo de los mismos

En la descripción de ingredientes, los diferentes tipos de azúcares se agrupan anteponiendo la palabra “azúcares añadidos” seguido de la lista entre paréntesis con las denominaciones específica de todos los azúcares libres presentes en el producto.

Los octógonos se deben colocar en la esquina superior derecha de la superficie principal de exhibición (figura 10.1), para productos con dimensiones igual o mayor a 60 cm² y cuando midan menos de este valor se colocan en cualquier área de dicha superficie. Para envases más pequeños (≤ 40 cm²) estos sellos se podrán representar con número que corresponda a la cantidad de nutrimentos que cumplen con el perfil establecido.

Para productos que no contengan sellos y leyendas precautorias (figura 10.1) indicadas en la norma, puede incluirse la frase “Este producto no contiene sellos ni leyendas”. Esta declaración debe ser colocada en la superficie de información y, su tipografía y tamaño debe ser igual o menor al tamaño mínimo cuantitativo del contenido neto conforme a la NOM-030-SCFI-2006.

Figura 10.1. Representación de información nutrimental complementaria y leyendas precautorias conforme a la modificación de la NOM-051-SSA1-2010 del 27/03/2020.



Se adiciona la definición de productos imitación: “Los productos preenvasados que son elaborados con ingredientes o procedimientos diversos a los usados en la producción de aquel producto preenvasado con NOM o conforme a la denominación del producto al que pretende imitar y cuyo aspecto sea semejante a este último” y se eliminan las definiciones de productos genuinos, sustitutos, tipo, estilo en su lugar se deberá colocar la palabra IMITACIÓN en la parte superior izquierda de la superficie principal de exhibición. En el caso de los quesos inicialmente se consideró que la medida aplicaría para productos con denominación de origen proveniente de la Unión Europea, como: Queso Parmesano, Manchego, Gouda, Mozzarella, Edam. Después de meses de negociación la Cámara Nacional de Industriales de la Leche (Canilec) informó que el nombre de estos quesos seguirá siendo de uso libre en México, y sólo se protegerán a los de nombres compuestos como: Edam holandés o Camembert de Normandi.

En abril de 2021 entraron en vigor tres nuevas modificaciones a considerar cuando el producto contenga alguno de los sellos o leyendas del sistema de etiquetado frontal, en estos casos las etiquetas de los envases “no deben”:

1. Incluir personajes infantiles, animaciones, dibujos animados, celebridades, deportistas o mascotas, elementos interactivos que llamen la atención a este público.
2. Realizar declaraciones de propiedad saludable o declaraciones de propiedades nutrimentales relacionadas directamente con el sello que haya sido declarado en la etiqueta. Esto es no se puede tener un octágono que diga “exceso de sodio” y una declaración nutrimental que diga “reducido en sodio”.
3. Incluir el aval de alguna organización profesional de salud o nutrición (símbolo al frente del paquete que identifican a la asociación que lo emite: diabetes, nutrición, cardiología, pediatría).

En la segunda etapa que inicia en octubre de 2022 se hará un ajuste en los perfiles nutrimentales establecidos para reducir la cantidad de calorías, azúcares y sodio y en la última fase programada para el 01/10/2025, el cálculo y evaluación de la información nutrimental complementaria se realizará aplicando íntegramente las disposiciones contenidas en los perfiles nutrimentales.

1. Para decidir si la leche o productos lácteos deben incluir sellos o leyendas en su etiqueta seguir los siguientes puntos:
2. Revisar composición y evaluar si el listado de ingredientes incluye nutrimentos críticos:
3. azúcares añadidos, grasas, sodio o si tienen adicionados edulcorantes o cafeína.
4. Si los contiene, disponer de valores de composición bromatológica o resultados fisicoquímicos obtenidos mediante análisis.
5. Confirmar mediante calculo que cumplan con los perfiles nutrimentales establecidos de acuerdo con la fase en proceso
6. Obtener el área de la superficie principal de exhibición de acuerdo con la NOM-030-SCFI
7. Calcular el tamaño de los sellos y/o leyendas considerando el área y la tabla A1 de la norma
8. Inclusión de los sellos y/o leyendas en la etiqueta

En la tabla 10.5 se describen los ingredientes de productos lácteos comerciales y los sellos y/o leyenda que podrían incluir sus etiquetas en función de su contenido, remarcando en negritas los ingredientes críticos a considerar en la evaluación.

Tabla 10.5. Descripción de ingredientes en productos lácteos o leche y su valoración conforme a los criterios de la NOM-051-SCFI-2010 modificación del 27 de marzo 2020.

Denominación	Ingredientes	Comentarios
Leche parcialmente descremada, ultrapasteurizada, adicionada con vitaminas A y D	Leche de vaca parcialmente descremada, vitaminas A y D	Exento de sellos al no tener nutrimentos críticos añadidos
Queso asadero	Leche entera pasteurizada de vaca, sal yodada, cultivos lácticos, cloruro de calcio y cuajo	En primera y segunda fase como se agrega sodio, sólo se deberá evaluar sodio. En base a su cantidad podría tener un sello: EXCESO SODIO
Cajeta de Leche de cabra	Leche de cabra, azúcares añadidos (jarabe de maíz, azúcar) bicarbonato de sodio, sorbato de potasio	En primera y segunda fase como presenta azúcares añadidos, se deberán evaluar calorías y azúcares. En base a su contenido podría tener dos sellos: EXCESO CALORÍAS EXCESO DE AZÚCARES
Yoghurt bebible Doble Cero con fresa	Leche descremada pasteurizada estandarizada, preparado de fruta 3.5 % (fresa (6%), almidón modificado, sabor fresa, ácido cítrico, sorbato de potasio, pectina, fresa, Stevia (6.5 mg/100 g), Benzoato de sodio, acesulfame k (2 mg/100g), amarillo 6, rojo 6) pectina, saborizante natural, lactasa, sucralosa (3.5 mg/100 g)	Presenta adición de sodio proveniente de conservador no sobrepasa especificación, por el uso de edulcorantes, agregar frase: CONTIENE EDULCORANTES NO RECOMENDABLES EN NIÑOS.
Mantequilla de mesa con aceite vegetal	Mantequilla 54% (grasa butírica, leche descremada reconstituida, agua, benzoato de sodio, sorbato de potasio, saborizantes, lecitina de soya, sal yodada, ácido cítrico, extracto de annato), agua, grasas vegetales parcialmente hidrogenadas 28 %	En primera y segunda fase como se agregan grasas, se deberán evaluar grasas saturadas, grasas trans y calorías En base a su contenido podría tener dos sellos: EXCESO CALORÍAS EXCESO GRASAS SATURADAS

10.5 Listado de normas nacionales

Las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) son regulaciones técnicas que rigen a la industria, y que contribuyen al empoderamiento de la población. Con la nueva ley de la infraestructura de la calidad (LIC), se busca promover la concurrencia de los sectores público, social y privado en su elaboración y observancia, así como de los estándares establecidos.

Para efectos de la LIC, la actividad de normalización es realizada por las autoridades normalizadoras, es decir, por las dependencias o entidades competentes de la administración pública federal que tengan atribuciones o facultades expresas para elaborar y expedir normas oficiales mexicanas o para participar en la elaboración y expedición de Normas Internacionales como la Secretaría de Salud, Secretaría del Trabajo y Previsión Social, Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. Esta actividad de normalización se distingue de la actividad de estandarización en cuanto a que esta última puede ser llevada a cabo tanto por las autoridades normalizadoras como por cualquier persona moral constituida legalmente que tenga un interés para la elaboración, modificación y cancelación de estándares, a la cual la ley le denomina Sujeto facultado para estandarizar. Este punto marca una diferencia en la forma de gestionar la generación de los documentos y es una de las nuevas disposiciones de la LIC que pretende reformular el sistema de normalización, estandarización, evaluación de la conformidad en México.

Con estos cambios lo que se busca es mejorar los procedimientos para acortar los tiempos para la publicación de las normas en declaratoria de vigencia, así como dar a conocer los proyectos publicados que están en consulta pública, y donde se promueva una mayor facilidad para difundir la información necesaria para los usuarios. Para esto último, se establece la creación de la Plataforma Integral de la Infraestructura de la Calidad, sistema digital donde se administrarán y ejecutarán de manera sistematizada los datos, procesos, trámites, servicios, actividades de normalización, estandarización, evaluación de la conformidad y metrología. Esta nueva Plataforma Integral será el principal medio de difusión y consulta de las NOM, los estándares (antes NMX) y patrones nacionales de medidas, entre otros (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía, 2020)

En este momento la información para la consulta de normas y estándares está disponible en el Sistema Integral de Normalización y Evaluación de la Conformidad (SINEC) de la secretaria de Economía (www.sinec.gob.mx). Este sitio dispone de información sobre la LIC, Procesos de Evaluación de la Conformidad y proyectos de normas sometidos a consulta pública.

En la tabla 10.6 se describen las claves de las normas oficiales mexicanas y estándares que consideran requisitos sanitarios, nutrimentales, de calidad e información comercial, aplicables a leche y productos lácteos.

Estos documentos contienen la información explicada sobre la clasificación del producto, especificaciones de calidad, sanitarias y nutrimentales, ingredientes permitidos y opcionales, disposiciones técnicas, métodos de prueba, datos e información correspondiente al producto al cual será aplicable. En algunos casos hacen referencia a otras normas o estándares.

Tabla 10.6. Normas y estándares vigentes que aplican a la leche y sus productos en México.

Productos descritos en el Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios	Normas Oficiales Mexicanas	Estándares	Descripción
Crema	NOM-193-SCFI-2014	NMX-F-731-COFOCALEC-2017	Incluye las denominaciones: Crema, Crema premium, Crema extra grasa, Media crema, Crema ligera. Especifican el contenido de grasa butírica, proteína, humedad, acidez y los métodos de prueba aplicables
Dulces de leche	NOM-243-SSA1-2010	NMX-F-709-COFOCALEC-2019 NMX-F-743-COFOCALEC-2019	La norma define a los Dulces con base en leche, a los productos elaborados por tratamiento térmico de la leche y edulcorantes, pudiendo ser adicionados de aditivos e ingredientes opcionales. Incluye especificaciones para contaminantes y contenido microbiano. El COFOCALEC ha publicado estándares para cajeta y Chongos Zamoranos y producto lácteo tipo chongos zamoranos.
Grasa butírica		NMX-F-727-COFOCALEC-2013	
Helados y bases para helados	NOM-243-SSA1-2010	NMX-F-714-COFOCALEC-2020 Proyecto en consulta pública DOF: 09/06/2021	Contempla a los Helados de crema, de leche o grasa vegetal, sorbetes y bases o mezclas para helados. La NMX-F-727 incluye al helado con o de yogur, helado de leche acidificado y nieves. Incluye especificaciones y cita los métodos para evaluar: Grasa, Proteínas, Sólidos totales
Jocoque	NOM-243-SSA1-2010	NMX-F-703-COFOCALEC-2012	

<p>Leche acidificada Leche condensada azucarada Leche cultivada o fermentada Leche evaporada Leche pasteurizada y ultrapasteurizada Leche combinada Leche recombinada Leche reconstituida Leche rehidratada</p>	<p>NOM-155-SCFI-2012 NOM-222-SCFI/SAGARPA-2018 NOM-190-SCFI-2012, NOM-243-SSA1-2010</p>	<p>NMX-F-703-COFOCALEC-2012</p>	<p>Todos los productos denominados como leche y que sean comercializados en el territorio nacional, así como la información comercial de los productos imitación. Para la mezcla de leche con grasa vegetal, las clasifica de acuerdo al proceso primario como: rehidratada reconstituida, deslactosada; Proceso secundario; pasteurizada Ultrapasteurizada Microfiltrada Ultra Evaporada, Condensada Azucarada Deshidratada o en polvo, Concentrada y sabor</p>
<p>Leche en polvo o leche deshidratada como materia prima</p>	<p>NOM-222-SCFI/SAGARPA-2018, NOM-243-SSA1-2010</p>		<p>La leche en polvo de fabricación nacional o importada utilizada como materia prima y comercializada en territorio nacional.</p>
<p>Mantequilla</p>	<p>NOM-243-SSA1-2010</p>	<p>NMX-F-729-COFOCALEC-2013</p>	

<p>Queso</p>	<p>NOM-223-SCFI/ SAGARPA-2018. NOM-243- SSA1-2010</p>	<p>NMX-F-713- COFOCALEC-2014 NMX-F-733- COFOCALEC-2013 NMX-F-735- COFOCALEC-2018 NMX-F-738- COFOCALEC-2017 NMX-F-742- COFOCALEC-2012 NMX-F-745- COFOCALEC-2019 NMX-F-746- COFOCALEC-2013 NMX-F-749- COFOCALEC-2014 NMX-F-751- COFOCALEC-2015 NMX-F-753- COFOCALEC-2015 NMX-F-754- COFOCALEC-2015 NMX-F-755- COFOCALEC-2015 NMX-F-756- COFOCALEC-2015 NMX-F-757- COFOCALEC-2015 NMX-F-758- COFOCALEC-2016 NMX-F-759- COFOCALEC-2015 NMX-F-766- COFOCALEC-2016</p>	<p>La NOM-223 clasifica a los Quesos como: frescos y madurados e indica que la denominación comercial de Queso está reservada a los productos elaborados con leche y productos obtenidos de la leche. La NOM-243 adiciona a los quesos procesados y de suero. El Cofocalec ha emitido los siguientes estándares para queso: Oaxaca, Cotija artesanal madurado, chihuahua, panela, cheddar, chester, edam, cottage, suizo, queso crema y queso doble crema, adobera, asadero, canasto, sierra, ranchero, de morral, de suero. Incluyen especificaciones y cita las metodologías para evaluar el contenido de: Proteínas, grasas, humedad, fosfatasa residual, contaminantes y contenido microbiano.</p>
<p>Yogur, Yogurt o Yoghurt</p>	<p>NOM-181-SCFI/ SAGARPA-2018</p>	<p>NMX-F-703- COFOCALEC-2012</p>	<p>Establecen la denominación, las especificaciones fisicoquímicas, microbiológicas y la información comercial que debe cumplir el producto denominado yogurt, así como los métodos de prueba que deben aplicarse para comprobar dichas especificaciones. Clasifica al yogurt en: yogurt natural; yogurt natural con endulzantes; yogurt saborizado, y yogurt con fruta u otros alimentos. Incluye especificaciones y métodos de prueba para evaluar: Grasa, Proteínas, Sólidos no grasos, acidez titulable y el contenido mínimo de 10⁷ UFC/g de microorganismos viables (<i>Streptococcus thermophilus</i> y <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subespecie <i>bulgaricus</i>)</p>

Caseína de grado alimentario o caseinatos de grado alimentario		NMX-F-723-COFOCALEC-2013	Establece las especificaciones y métodos de prueba que aplican a la caseína y a los caseinatos para su consumo directo o su posterior procesamiento. Los clasifica en Caseína de cuajo grado alimenticio, Caseína ácida grado alimenticio y Caseinatos grado alimenticio. Algunas determinaciones por evaluar son: proteína, caseína en la proteína de leche, humedad, grasa, Cenizas, Lactosa, pH.
Requesón	NOM-243-SSA1-2010	NMX-F-713-COFOCALEC-2014	Establece las denominaciones de los productos queso y queso de suero, sus especificaciones mínimas de calidad y los criterios para su clasificación, así como los métodos de prueba utilizados para demostrar su cumplimiento.
Suero	NOM-243-SSA1-2010	NMX-F-721-COFOCALEC-2012	Establece las especificaciones y métodos de prueba que aplican a las diferentes variedades de suero de leche, destinadas para su consumo directo o su posterior procesamiento.
Producto lácteo y producto lácteo combinado*	NOM-183-SCFI-2012		Establece las denominaciones comerciales de los diferentes tipos de producto lácteo y producto lácteo combinado, así como las especificaciones fisicoquímicas que deben reunir esos productos para ostentar dichas denominaciones, los métodos de prueba para demostrar su cumplimiento y la información comercial que deben contener las etiquetas de los envases que los contienen.
Mezcla de leche con grasa vegetal*	NOM-190-SCFI-2012		Establece las denominaciones comerciales de los diferentes tipos de mezcla de leche con grasa vegetal, así como las especificaciones fisicoquímicas que deben reunir esos productos para ostentar dichas denominaciones, los métodos de prueba para demostrar su cumplimiento y la información comercial que deben contener las etiquetas
Leche cruda o bronca		NMX-F-700-COFOCALEC-2019 Proyecto en consulta pública DOF: 04/05/2021 NMX-F-728-COFOCALEC-2017	Establece las especificaciones de calidad de la leche cruda de vaca y los métodos de prueba usados para su evaluación.

* Estas normas resultaron de la modificación de la NOM-155-SCFI-2003, en la revisión de esta, se acordó dejar esta NOM sólo para leche.

Además de estas normas y estándares específicos, también hay NOM's de aplicación general que las complementan, como es el caso de la NOM-051-SCFI/SSA1-2010, sobre la información comercial y sanitaria para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados, cuya modificación fue publicada en el DOF el pasado mes de marzo de 2020; la NOM-086-SSA1-1994, que aplica a alimentos y bebidas no alcohólicas con modificación en su composición; la NOM-243-SSA1-2012, disposiciones y especificaciones sanitarias para leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado y derivados lácteos; Además, se tiene la NOM-251-SSA1-2009, que establece las prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios; la NOM-002-SCFI-2011 sobre el contenido neto, tolerancias y métodos de verificación; y la NOM-030-SCFI-2006 sobre la declaración de cantidad en la etiqueta.

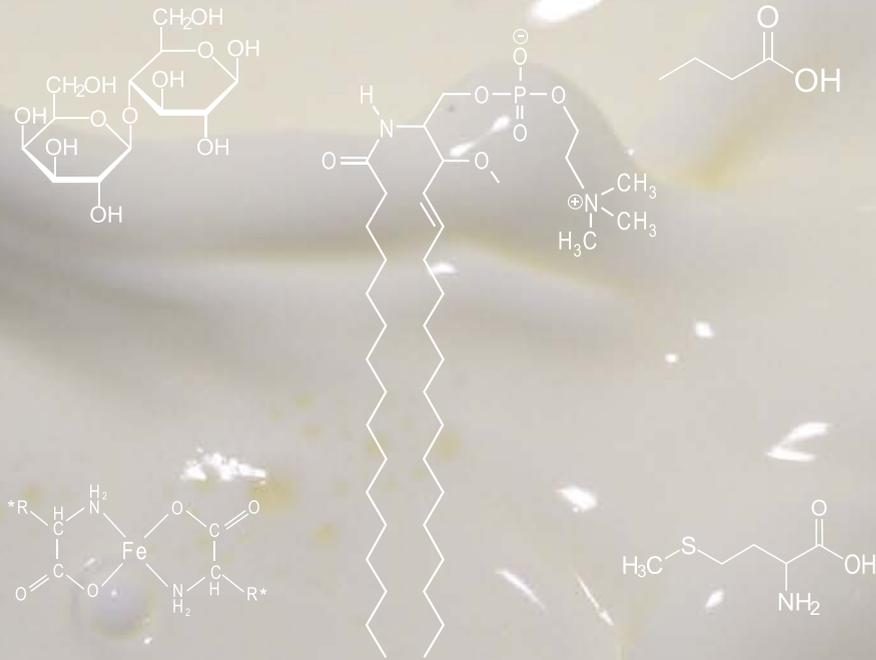
10.6 Conclusiones

El cumplimiento de las normas genera un mercado potencial al desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías, investigación y desarrollo y una mayor competitividad en la industria. Es por ello que, hay un gran desfase en referenciar las NOM, que por definición son obligatorias (desde la LFMN y ahora por la reciente LIC), y las NMX (actualmente denominados estándares), las cuales aun siendo de carácter voluntario pueden ser referenciadas en su regulación local para que se vuelvan obligatorias, ya que se debe promover el uso de productos que cumplan con la normatividad, lo que contribuye a asegurar la calidad de las construcciones.

La Ley de Infraestructura de la Calidad reformula el sistema de normalización, estandarización, evaluación de la conformidad y metrología en México, y garantiza la armonización con las normas internacionales que favorecen también a la economía del país. El trabajo para lograr el objetivo apenas inicia, pero los cambios y esquemas planteados en la LIC contribuyen a fortalecer y estimular el desarrollo de estándares y su certificación.

10.7 Bibliografía

- 31/03/2017, D. (2017). *Aviso por el que se da a conocer el listado de las entidades de acreditación autorizadas, de las personas acreditadas y aprobadas, de los organismos nacionales de normalización, de los organismos internacionales reconocidos por el gobierno mexicano*, https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5487350&fecha=19/06/2017
- CEBL. (2015). *Diagnóstico sobre la Normalización y Evaluación de la Conformidad en la cadena de la leche*. <https://www.comisionejecutivadelaleche.org/estudios-especiales/>
- Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. (2020). No TitleCon la entrada en vigor de la Ley de Infraestructura de la Calidad (LIC) se establecen nuevos requisitos. <https://www.gob.mx/conuee/es/articulos/con-la-entrada-en-vigor-de-la-ley-de-infraestructura-de-la-calidad-lic?idiom=es>
- DOF 01/07/20. (n.d.). Ley de Infraestructura de la Calidad (Vol. 56). Diario Oficial de la Federación 1 de julio de 2020. <https://admin.ancf.mx/almacen/pdf/decreto-ley-infraestructura-calidad.pdf>
- NOM-051-SCFI/SSA1-2010, 1 37. http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4010/seeco11_C/seeco11_C.htm



Esta obra tiene el objetivo de difundir las investigaciones y experiencias que cada uno de los autores ha desarrollado en los últimos años en el campo de la lactología. El contenido de cada capítulo se redactó pensando en llegar a mayor número de lectores en su versión impresa y digital. Con este trabajo queremos mostrar que es posible visualizar desde una misma perspectiva los saberes ancestrales, que nos permiten gozar de alimentos tradicionales de calidad, con el conocimiento y herramientas analíticas más avanzadas en química, física, microbiología, biotecnología y otras disciplinas, de tal manera que también es posible desarrollar productos e ingredientes provenientes de la leche con un aporte específico a la salud.

Al propiciar la suma de saberes, desde el conocimiento heredado de generación en generación, hasta el generado en las aulas universitarias y en los centros de investigación de México, podemos fortalecer nuestras tradiciones culinarias, en las que el queso, el jocoque, el requesón son elementos esenciales de nuestra alimentación y al mismo tiempo motivar la investigación y producción de lácteos innovadores.

Este trabajo fue dirigido a lectores experimentados en la lactología así como para nuevos interesados en el desarrollo de alimentos lácteos. Esperamos que el texto sea disfrutable y genere curiosidad por lo que quedamos a la orden a través de nuestros correos electrónicos.

Dra. María Patricia Chombo Morales