

El inocente impacto ambiental del suero de la leche

The Innocent Environmental Impact of Whey

EPISTEMUS

ISSN: 2007-8196 (electrónico)

Marianne Lizárraga-Chaidez ¹
 Magdalena Mendoza-Sánchez* ²
 Lucía Abadía- García ³
 Javier García-Pérez* ⁴

Recibido: 15 / 08 / 2023

Aceptado: 07 / 11 / 2023

Publicado: 07 / 12 / 2023

DOI: <https://doi.org/10.36790/epistemus.v17i35.316>

Autor de Correspondencia:

Magdalena Mendoza-Sánchez

Correo: magdalena.mendoza@uaq.mx

Resumen

En la producción de lácteos, se genera una gran cantidad de suero de leche, un subproducto que ha sido tradicionalmente considerado como un residuo. Sin embargo, esta perspectiva está cambiando, ya que se está trabajando en la revalorización del suero de leche para reducir su impacto ambiental negativo. Tanto la industria como los hogares están buscando formas de reutilizar el suero de leche, incluyendo su uso en la alimentación humana y animal, así como en la producción de materiales biodegradables como bioplásticos y biocombustibles. Esta revisión tiene como objetivo explorar el impacto ambiental del suero de leche y las oportunidades de su reutilización, destacando su importancia en la transición hacia una economía circular y sostenible.

Palabras clave: industria láctea, Suero, Impacto ambiental, Revalorización, Alimentos funcionales.

Abstract

In dairy production, a large amount of whey, a by-product traditionally considered waste, is generated. However, this perspective is changing as efforts are being made to revalue whey to reduce its negative environmental impact. Both industry and households are looking for ways to reuse whey, including its use in human and animal nutrition, as well as in the production of biodegradable materials such as bioplastics and biofuels. This review aims to explore the environmental impact of whey and opportunities for its reuse, highlighting its importance in the transition towards a circular and sustainable economy.

Keywords: dairy industry, Whey, Environmental impact, Revaluation, Functional foods.

¹ Estudiante de Maestría, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México, marianne_lch@hotmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4746-3910>

² Doctorado, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México, magdalena.mendoza@uaq.mx, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0596-4947>

³ Doctorado, Innovación y Desarrollo de Alimentos, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México, lucia.abadiag@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0955-4520>

⁴ Maestría, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México, javierincadd@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-6770-4681>

INTRODUCCIÓN

La leche y los productos lácteos son alimentos esenciales en la dieta de muchas personas alrededor del mundo y forman parte importante de la economía global. Durante el 2021, la producción de leche a nivel mundial aumentó, alcanzando una cifra cercana a los 887 millones de toneladas métricas [1]. En este sentido, el aumento en la demanda de productos lácteos se encuentra asociado a dos factores principales; al crecimiento de la población mundial y al incremento en el consumo por persona [2].

La industria de lácteos, en el sector alimentario, es considerada una de las más importantes por su papel clave en el desarrollo económico de diversos países [3]. Esta industria se encarga del procesamiento de la leche cruda para obtener una amplia gama de productos lácteos, desde la leche pasteurizada y agria, hasta quesos duros, blandos y requesón, productos de nata, mantequilla, yogurt, helado, suero y leche en polvo, entre otros [4]. Como resultado de la producción láctea durante la elaboración de quesos y otros productos lácteos, el suero es uno de los subproductos que se obtiene, y se caracteriza por su color amarillo y sabor agrio. Aun cuando es un subproducto, el suero tiene un alto valor nutricional gracias a su rico contenido en carbohidratos y proteínas [5,6] que puede representar una oportunidad para ser reutilizado en diversas áreas industriales como la alimenticia y energética, así como de manera personal, por ejemplo, en la panificación, en los productos cárnicos, en ensaladas, entre otros [7].

Sin embargo, a pesar de ser un subproducto valioso, el suero generado durante la producción de queso y otros productos lácteos puede ser altamente contaminante si se vierte en cuerpos de agua sin recibir tratamiento, alcanzando valores de demanda química y bioquímica de oxígeno (DQO y DBO) cercanos a 100.00 mg O₂/L, lo que se debe a la elevada carga orgánica que contiene, principalmente lactosa, grasas y proteínas [8,9].

La consecuencia de un consumo alto de oxígeno es catastrófica para los ecosistemas, puesto que, de esta forma se aniquila la vida acuática por asfixia. Por su potencial alto de contaminación, el suero se convierte en uno de los desechos más nocivos generados por la industria de alimentos [10].

Para un desarrollo sostenible, se han buscado alternativas que reduzcan el impacto ambiental generado por este residuo y al mismo tiempo su revalorización. Es por ello que, la valorización de este residuo enfocada al desarrollo de nuevos productos ha tenido mayor relevancia entre los investigadores, las industrias de diversas áreas y los consumidores, siendo, además, un alimento de alto valor nutricional, el cual puede ser utilizado como base en la elaboración de alimentos funcionales, asimismo, utilizado como materia prima en la fabricación de una nueva variedad de productos y servicios como los biocombustibles [11].

LA INDUSTRIA LÁCTEA EN EL MUNDO

Por años, el consumo de la leche y sus productos derivados han sido parte importante en la dieta humana. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés), en el 2020 y el 2021 la producción de leche a nivel mundial fue de 854 y 887 millones de toneladas métricas, respectivamente; mientras que, la OCDE/FAO [12], estima que en los próximos diez años la producción mundial de lácteos aumente hasta los 997 millones de toneladas. Es importante destacar que, el consumo de leche y sus derivados está relacionado con el incremento del consumo per cápita mundial, los ingresos, la urbanización y las modificaciones en los hábitos alimenticios de la población [13].

En este sentido, de acuerdo con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA por sus siglas en inglés) en el 2021, los países con mayor producción de





lácteos fueron: Estados Unidos, India, China, Brasil, Rusia, y Alemania [14]. Por otra parte, los países con mayor consumo de productos lácteos fueron los que constituyen a la Unión Europea, Noruega, Islandia y el Reino Unido. Mientras que, los países con menor consumo de leche y productos lácteos fueron de continentes como Asia; China, India, Indonesia y Vietnam, así como los países africanos, Etiopía, Nigeria y Tanzania, entre otros [15]. (Figura 1)

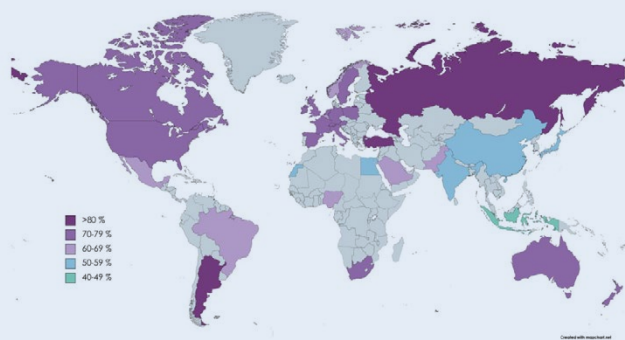


Figura 1. Porcentaje de consumo de lácteos de acuerdo con la encuesta de Global Consumer Survey de Statista, 2021 [16].

A pesar de que el mayor consumo de leche y productos lácteos está en los países desarrollados, los países en vías de desarrollo están reduciendo esta diferencia como consecuencia del rápido crecimiento de la población, el aumento de los ingresos, la urbanización y las nuevas tendencias en el mercado de alimentos. Sin embargo, el consumo de lácteos de cada país varía, en gran parte debido a factores como el ingreso per cápita y las preferencias regionales; por ejemplo, se espera en algunos años que el consumo de lácteos aumente en la India y Pakistán, pero no en China, debido a estos factores [17].

LA INDUSTRIA LÁCTEA EN MÉXICO

En México, existen 130 industrias lácteas formales y 300 mil medianos y pequeños productores de lácteos, los cuales producen alrededor del 86 % de leche y sus derivados que son consumidos nacionalmente [18,19]. En este sentido, los productores tecnificados pueden llegar a producir hasta 5 mil litros de leche al día, mientras que, los de pequeña escala procesan entre 60 y 1000 litros de leche al día. Este panorama diverso del sector lácteo mexicano refleja la importancia que tiene esta actividad en la economía del país y en la sociedad en general [20].

Dentro del país, los principales estados productores son: Jalisco, Coahuila, Durango, Chihuahua, Veracruz, Puebla, Guanajuato, Chiapas, Aguascalientes y la ciudad de México, representando el 60 % de la producción nacional [18,19]. En el 2018 se produjeron 12 millones de litros de leche en el país, de los cuales, el 20 % fueron generados por el estado de Jalisco, mientras que, el 44 % fueron producidos en conjunto por Coahuila, Durango, Chihuahua, Guanajuato y Veracruz, finalmente, el 36 % restante, fue producida por el resto de los estados de la república [21].

Por otra parte, México ha tenido un mayor crecimiento en la producción y comercialización de estos productos, por lo que, en el 2021 se encontró en el puesto 15 del ranking mundial de mayores exportadores de leche y derivados, y fue el noveno en cuanto a producción total [15]. A pesar de lo anterior, el país sigue generando más compras, que ventas de leche, pues, tan sólo ese año importó 390 mil toneladas de leche y únicamente exportó 69 mil toneladas. En tal sentido, su consumo dentro del territorio mexicano es tan importante que, pese a que en el 2020 la producción de leche bovina fue de 13,239,779 toneladas, se importaron 3,000,587 litros más para satisfacer la demanda de los clientes [22].

LA INDUSTRIA LÁCTEA VS EL MEDIO AMBIENTE

¿QUÉ ES EL SUERO DE LA LECHE?

El suero de leche, también llamado suero del queso o lactosuero es un residuo acuoso generalmente de coloración amarilla verdosa, semitransparente, resultante del coagulado de las proteínas de la leche en la preparación de quesos [23].

En la fabricación de los productos lácteos sólo se aprovechan del 10 % hasta el 20 % del producto completo en la elaboración de sus derivados, mientras que, el 85 % y hasta el 90 % es suero de leche [24, 25]. Además, se estima que por cada kilogramo de queso producido se generan nueve litros de suero de leche [26].

Por otro lado, este subproducto, aunque es considerado aún como un desecho, contiene el 55 % del contenido nutricional de la leche (Figura 2), en donde su constitución es la siguiente: 93 % de agua, 4-5 % de lactosa, 1 % de minerales, 0.5 % de proteínas, 0.7 % de ácido láctico, 0.3 % de grasas, y la mayor parte de las vitaminas que contiene la leche, teniendo, por tanto, una importante cantidad de componentes de alto valor nutricional [8, 25, 27, 28].



Figura 2. Composición del suero de leche. Información consultada: [27]

De acuerdo con su método de coagulación este subproducto puede ser de dos tipos suero dulce o agrio (figura 3). El primero tiene un pH de 6-7 y resulta de la coagulación de caseína en la producción de quesos, mientras que, el suero agrio tiene un pH menor a 5 y se origina durante la fermentación o elaboración de productos con ácidos orgánicos añadidos, por ejemplo, la producción de quesos frescos [25].

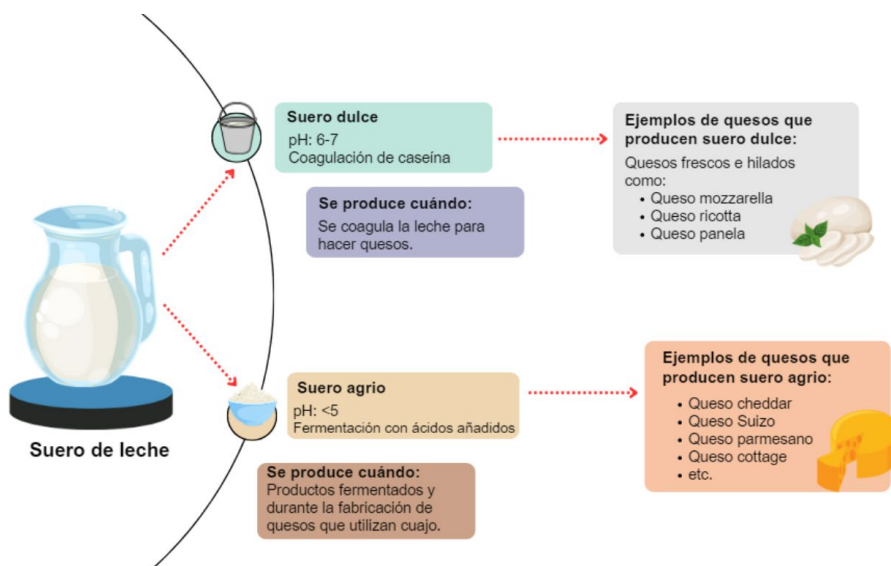


Figura 3. Tipos de suero de leche y de dónde se generan. Información consultada de: [25]

EL SUERO DE DESECHO GENERADOR DE AGUA RESIDUAL

La industria láctea es considerada en la actualidad como una de las más contaminantes, ya sea por verter sus residuos al medio ambiente, o por las características que ésta posee. Pues, se estima que por cada litro de leche procesada se generan de 0.2 L a 10 L de aguas residuales, cuya composición y caudal varían dependiendo del tipo de producto lácteo elaborado. Es importante tener en cuenta que la calidad de estas aguas residuales es determinante en la protección del medio ambiente e incluso en la salud pública [29, 20].

Aualmente, en el mundo se desechan alrededor de 4 a 11 millones de toneladas de subproducto lácteo (mayormente suero), representando una amenaza a la salud humana, a la biodiversidad y al ecosistema en general [30]. Principalmente, el residuo de la leche y el queso al contener compuestos orgánicos, se descom-





pone rápidamente estimulando el crecimiento desmedido de maleza acuática, como los lirios, y desencadenando el fenómeno de la eutrofización donde se produce el aumento de nutrientes, y el bloqueo al paso de la luz causando la disminución o agotamiento del oxígeno disuelto en el agua (O.D.), dando lugar a condiciones anaeróbicas que tienen como consecuencia la generación de malos olores, y la reproducción de insectos nocivos para la salud, como los mosquitos transmisores del dengue, chikungunya, zika, fiebre amarilla, malaria, entre otros [3]. Además, el descenso del O.D. origina la muerte de la fauna y flora acuática como en el caso de peces y algunas especies de algas. Un ejemplo de esta problemática se ve como resultado de las altas concentraciones de caseína que es la proteína de mayor concentración proveniente del suero, la cual, al precipitar en el cuerpo de agua receptor, se descompone produciendo un lodo de coloración oscura que afecta la vida hídrica [9, 30, 32, 33].

Por otro lado, algunos de los componentes del suero como la lactasa, sales inorgánicas y grasas, al ser vertidos al agua, pueden provocar varios efectos desfavorables como la turbidez del agua, pH ácido, la generación de sólidos

disueltos y en suspensión, así como una elevada demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO). En este sentido, cuando estas proteínas son descargadas en el cuerpo de agua receptor, las bacterias producidas bajo estas condiciones pueden transformar las proteínas en compuestos inorgánicos como el amonio, amoniaco, nitratos y nitritos, siendo este último importante por su elevada toxicidad en humanos y animales debido a su proceso de nitrificación (Figura 4), es decir, la exposición de nitritos en el cuerpo origina mayormente en niños y bebés metahemoglobinemia, afección que ocasiona un inadecuado transporte de oxígeno en la sangre y puede ser potencialmente mortal [20].

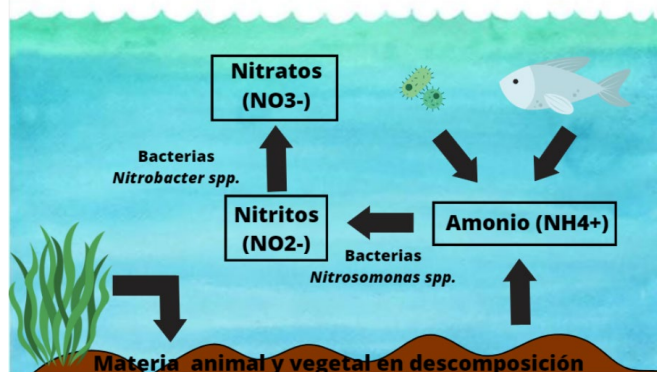


Figura 4. Proceso de nitrificación en cuerpos de agua.

Fuente propia.

En el 2017, una revista empresarial reportó una fuerte contaminación a un río en México, proveniente de una empresa popular de lácteos, en la cual, se destacó que, de acuerdo con la ley de aguas nacionales, 17 de sus parámetros medidos superaron a los límites máximos permisibles, lo que equivale en 22,000 toneladas de efluentes contaminantes que se descargaron sin tratamiento al río [34]. Por otro lado, en el 2020 un portal de noticias anuncia que otra





empresa popular con una variedad de productos lácteos, en Francia, fue denunciada por la severa contaminación del río Aisne y la muerte de la fauna acuática causada por la disminución de oxígeno disuelto en el agua [35].

Mientras que, a inicios del 2023, otras empresas lácteas, en Córdoba, Argentina, fueron señaladas por la contaminación del río Tercero, tras descargas de sus efluentes sin tratamiento originando serios problemas ambientales y de salud pública [36].

En este sentido, los tratamientos para las aguas residuales con dichas características son costosos, por ejemplo, en España estos métodos van desde los 0.056 a 2.97 € por kg (equivalentes a 1,163.40 a 61,333.08 pesos mexicanos por metro cúbico de efluente). Por lo que, es importante implementar otras opciones para tratar este subproducto [30]. De manera que, en la actualidad se han estado explorando diversas aplicaciones tanto en el área industrial como en el hogar para revalorizar este subproducto.

EL DESPERDICIO DE PRODUCTOS LÁCTEOS EN LA INDUSTRIA Y EN EL HOGAR

En la actualidad, hay dos categorías de alimentos más desperdiciados en el mundo. Por un lado, las frutas y verduras y por otro, los lácteos. El segundo, es tan importante como el primero, debido a la cantidad dispuesta hacia el ambiente, pues se estiman alrededor de 11.5 millones de toneladas métricas, de las cuales los consumidores fueron los responsables del 64 % de esta pérdida total [37].

En el 2019, la industria láctea registró una producción alrededor de 115 millones de toneladas de suero al año, de los cuales, el 47 % fueron desechados directamente a los desagües [38]. Por otro lado, en el 2018 se estimó a nivel mundial, un desperdicio anual de 20 millones de toneladas de productos lácteos, equivalentes aproximadamente al 16 % de su producción total [39].

En el Reino Unido, los hogares desperdician una cantidad importante de alimentos lácteos, lo que equivale aproximadamente al 10 % del total de los desperdicios. Aunque existen diferentes motivos de estos desperdicios (Figura 5), la causa principal de esto en términos de volumen es el vencimiento de la fecha de consumo, lo que resulta en el desperdicio del 54 % de la leche, el 78 % del yogurt y el 79 % del queso. Es importante resaltar que, en la mayoría de los casos, los yogurts que se tiran a la basura no han sido abiertos todavía. Mientras que, un estudio realizado en Países Bajos determinó que, dentro de los alimentos desperdiciados en los hogares, los productos lácteos representaron el 26 % del total. De este porcentaje, el 61 % de los consumidores señalaron que la fecha de caducidad vencida fue una de las razones principales que motivó el desperdicio de estos productos [40]. Por otra parte, de acuerdo con la FAO, en su informe de caracterización y gestión de la pérdida y el desperdicio de alimentos de América del Norte en el 2018, en México existió un desperdicio de leche del 43.12 % equivalente a 20,418,214 de toneladas [39, 41].



Figura 5. Causas del desperdicio de productos lácteos en el hogar. Información consultada de: [40]

OPORTUNIDADES DE REVALORIZACIÓN DEL SUERO LÁCTEO

A pesar de que en el pasado el suero de leche era considerado un subproducto sin valor, actualmente se sabe que tiene múltiples aplicaciones en diferentes sectores. En la industria farmacéutica, por ejemplo, se puede usar como ingrediente para producir medicamentos, antiinflamatorios y analgésicos, gracias a sus propiedades biológicas. Para ello, las empresas utilizan la cromatografía para la separación de sus compuestos de interés. Asimismo, el suero de leche puede ser utilizado en la industria cosmética como ingrediente para la elaboración de cremas hidratantes, lociones y productos para el cuidado del cabello, debido a su alto contenido de proteínas y vitaminas [9]. Por otra parte, el suero de leche puede ser utilizado en grandes cantidades en la producción de bietanol y biogás, mientras que en cantidades menores se puede utilizar



para desarrollar bioplásticos. Esto se debe a que el suero de leche puede ser fermentado por microorganismos para producir ácido láctico, que es un precursor para la producción de polímeros biodegradables [25].

El suero de leche también tiene un uso en la industria de alimentos como un componente de los llamados alimentos funcionales, un ejemplo de ello son las bebidas y preparados para bebés a base de suero. Además, este subproducto también se puede utilizar en la industria de licores, debido a su alto contenido de minerales, lo que lo hace útil para la preparación de cerveza, vino y champagne de suero, así como también para la producción de refrescos a base de suero.

Por otro lado, también puede ser utilizado en la panificación y confitería, en la cual, se utiliza el subproducto de la leche en la elaboración de panes, pasteles, galletas, y muffins. También es ampliamente usado en la producción de yogurt y helado supliendo algunos ingredientes para reducir los costos y mejorar sus propiedades nutricionales, así como en aplicación de productos cárnicos reemplazando parcialmente la proteína suministrando más sabor y más nutrientes [7].

La posible adición del suero de leche en productos cárnicos se ha fortalecido cada vez más debido a las tendencias actuales de los consumidores y las regulaciones alimentarias. Los componentes del suero de leche, especialmente las proteínas, actúan como agentes aglutinantes y mejoradores de textura. Además, el suero es una fuente de aminoácidos fácilmente asimilables y digeribles para el organismo, lo que lo hace atractivo como ingrediente para mejorar el valor nutricional de los productos cárnicos. Por otro lado, el uso de este subproducto como aglutinante es particularmente útil en la elaboración de productos como nuggets de pollo, carne para hamburguesas y embutidos como salchichas tipo Frankfurt y jamón. En estos productos, el suero contribuye a mejorar la firmeza y la unión entre piezas de carne, lo que resulta en una textura y apariencia más deseable. Además, su capacidad para retener el agua y actuar como agente gelificante es favorecedor en

productos como el pescado y el surimi, mejorando su aspecto y atractivo visual [43].

Otro de sus usos en esta área, es como sustituto de la grasa en algunos alimentos para obtener efectos beneficiosos para la salud. Sus proteínas son utilizadas en la elaboración de aderezos para ensaladas, sopas, salsas, yogurt, entre otros. Incluso en alimentos bajos en grasa, el suero de leche cumple funciones como la unión de agua, emulsificación, gelificación, alta viscosidad y mayor solubilidad.

En la panificación, también es posible brindar beneficios dietéticos al consumidor reemplazando los huevos por suero para proporcionar proteínas de alta calidad y reducir el contenido de colesterol y carbohidratos en los productos horneados. Otro uso interesante del suero de leche es su capacidad para sustituir la sacarosa, mejorando características como la emulsificación, el sabor y la estructura de la miga [7]. Por otro lado, su alto contenido de minerales, especialmente calcio, potasio y fósforo, permiten reducir el contenido de sodio sin afectar sus propiedades sensoriales, lo que lo hace atractivo para personas hipertensas [44].

El suero de leche es un producto versátil que puede ser utilizado tanto en la industria alimentaria como en el hogar, no sólo para mejorar la calidad nutricional de los alimentos, sino también para prolongar su vida útil. Un ejemplo de esto es el uso del suero en la alimentación de aves, que ha demostrado tener una capacidad antifúngica; además, se ha identificado que el ácido láctico presente puede prevenir la actividad de hongos tóxicos en el pan de caja, lo que lo convierte en un conservante natural valioso para estos productos [45]. Adicionalmente, estudios previos han demostrado que el suero ácido con pH de 4 a 6.1 puede ser aplicado en suelos para corregir su alcalinidad de acuerdo con el tipo de plantas que se desee sembrar, asimismo, es utilizado para el crecimiento y calidad de los cultivos [46].

Por último, es importante destacar que existe desconocimiento por parte de los consumidores acerca del uso que se le puede dar a la leche que está próxima a caducar. A pesar de que la fecha de vencimiento esté cercana, esta leche todavía puede ser utilizada en la preparación de distintos platillos como panes, sopas, guisos, yogurt, queso, aderezos para ensaladas e incluso, para ablandar carnes. Es



importante destacar que, incluso el queso con moho puede ser consumido tras retirar la zona afectada, en algunos casos. Esta información puede ayudar a reducir el desperdicio de alimentos y aprovechar al máximo los recursos disponibles en la cocina [47].

En la Tabla 1 se pueden observar las aplicaciones y objetivos del suero de leche en diversos sectores de la industria y el hogar.

Tabla 1. Aplicaciones del suero de leche en la industria y en el hogar

Autor	Categoría	Aplicación/producto generado
[48]	Fertilizantes orgánicos	Fertilizantes y aditivos agrícolas
[46]		Bioestimulantes para plantas
[25]		Fertilizantes
[25]	Productos y procesos alimentarios	Alimentación animal
[7]		Producción de alimentos y Suplementos dietéticos
[43]		Productos cárnicos bajos en grasa
[42]		Películas y recubrimientos comestibles
[9]	Procesos industriales	Producción de bioenergía y bioproductos
[49]		Varios productos y procesos industriales
[42]	Salud	Películas y recubrimientos comestibles para alimentos
[43]		Productos cárnicos bajos en grasa
[50]		Conjugados y complejos de proteína de suero y polifenoles.

CONCLUSIÓN

Para enfrentar los desafíos de la contaminación en la industria de lácteos, es importante adoptar prácticas tecnológicas y de producción sostenible que permitan una gestión más eficiente de los residuos. Además, la reutilización del suero de leche en la industria y el hogar representa una oportunidad para abordar los desafíos económicos de la producción de queso y lácteos. A medida que aumenta la conciencia sobre la necesidad de reducir el desperdicio de alimentos y mejorar la eficiencia en la cadena de suministros, la revalorización del suero de

leche se vuelve cada vez más importante. Asimismo, el uso creativo del suero de leche en la industria alimentaria y el hogar puede llevar al desarrollo de nuevos productos y la innovación en la industria. En última instancia, la revalorización del suero de leche puede contribuir a un futuro más sostenible y a la reducción del impacto ambiental de la producción de alimentos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] OECD/FAO (2021), OECD-FAO Agricultural Outlook 2021-2030, FAO, Rome/OECD Publishing, Paris. [En línea]. Disponible en: www.fao.org/3/cb5332en/cb5332en.pdf
- [2] Secretaría de Economía, "ANÁLISIS DEL SECTOR LÁCTEO EN MÉXICO", México, Informe de la SECRETARÍA DE ECONOMÍA, marzo de 2012. Consultado el 14 de abril de 2023. [En línea]. Disponible: http://www.economia.gob.mx/files/comunidad_negocios/industria_comercio/informacionSectorial/analisis_sector_lacteo.pdf
- [3] S. Sinha, A. Srivastava, T. Mehrotra, and R. Singh, "A review on the dairy industry waste water characteristics, its impact on environment and treatment possibilities", *Emerging Issues in Ecology and Environmental Science*, Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 73–84, doi:https://doi.org/10.1007/978-3-319-99398-0_6
- [4] K. Slavov, "General characteristics and treatment possibilities of dairy wastewater - A review," *Food Technol. Biotechnol.*, vol. 55, no. 1, pp. 14–28, 2017, doi: <https://doi.org/10.17113/ftb.55.01.17.4520>.
- [5] M. Iriando-DeHond, E. Miguel, and M. D. Del Castillo, "Food byproducts as sustainable ingredients for innovative and healthy dairy foods", *Nutrients*, vol. 10, núm. 10, 2018, doi: <https://doi.org/10.3390/nu10101358>
- [6] P. Papademas and P. Kotsaki, "Technological Utilization of Whey towards Sustainable Exploitation," *Adv. Dairy Res.*, vol. 7, pp. 1-10, 2019. doi: 10.35248/2329-888X.7.4.231
- [7] B. Królczyk, T. Dawidziuk, E. Janiszewska-Turak, and B. Sołowiej, "Use of whey and whey preparations in the food industry – A review," *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, vol. 66, no. 3, pp. 157–165, 2016, doi:10.1515/pjfn-2015-0052
- [8] Panghal, A., Patidar, R., Jaglan, S., Chhikara, N., Khatkar, S. K., Gat, Y., & Sindhu, N. (2018). Whey valorization: current options and future scenario – a critical review. *Nutrition & Food Science*, 48(4), 617-630, doi: <https://doi.org/10.1108/NFS-01-2018-0017>.
- [9] J. L. Sebastián-Nicolás, L. G. González-Olivares, G. A. Vázquez-Rodríguez, C. A. Lucho-Constatino, A. Castañeda-Ovando, and A. E. Cruz-Guerrero, "Valorization of whey using a biorefinery," *Biofuel. Bioprod. Biorefin.*, vol. 14, no. 5, pp. 1010–1027, 2020, doi: 10.1002/bbb.2100.
- [10] J. M. Rocha and A. Guerra, "On the valorization of lactose and its derivatives from cheese whey as a dairy industry by-product: an overview," *Eur. Food Res. Technol.*, vol. 246, no. 11, pp. 2161–2174, 2020, doi: <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03580-2>
- [11] S. Khezri, M.M. Seyedsaleh, I. Hasanpour, M. Dastras, and P. Dehghan, "Whey: characteristics, applications and health aspects," *Int. J. Adv. Biotechnol. Res.*, vol. 7, no. 2, pp. 1383-1389, Apr. 2016, ISSN 0976-2612, Online ISSN 2278-599X.
- [12] OCDE/FAO, "OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas," Estadísticas de la OCDE sobre agricultura (base de datos), 2020, doi: 10.1787/agr-outl-data-en.
- [13] FAO, "Dairy Production and Products," Disponible en: <https://fao.org/dairy-production-products/products/es/,2023>.
- [14] USDA Foreign Agricultural Service, "Dairy: World Markets and Trade," Disponible en: <https://www.fas.usda.gov/data/dairy-world-markets-and-trade,2021>.



- [15] FAO, "Food Balance Sheets - Milk and Milk Products," Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FBS>, 2021.
- [16] Statista, "Porcentaje de encuestados que consumen habitualmente productos lácteos en 2021," Disponible en: <https://es.statista.com/grafico/24961/porcentaje-de-encuestados-que-consumen-habitualmente-productos-lacteos/>, 2021.
- [17] OCDE/FAO, "Leche y productos lácteos- OCDE-FAO Perspectivas Agrícolas 2019-2028," Disponible en: <http://www.fao.org/documents/card/es/c/ca6031es>, 2019.
- [18] P. Rivas-García, J. E. Botello-Álvarez, J. E. Abel Seabra, A. C. da Silva Walter, and A. Estrada-Baltazar, "Environmental implications of anaerobic digestion for manure management in dairy farms in Mexico: a life cycle perspective," *Environ. Technol.*, vol. 36, no. 17, pp. 2198–2209, 2015, doi:10.1080/09593330.2015.1024758.
- [19] SAGARPA, "Crece la producción de leche en México: SAGARPA." Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/colima/articulos/crece-la-produccion-de-leche-en-mexico-sagarpa-158944?idiom=es>, 2018.



- [20] C. Salas-Vargas, L. Brunett-Pérez, V. E. Espinosa-Ortiz, and C. G. Martínez-García, "Environmental impact of Oaxaca cheese production and wastewater from artisanal dairies under two scenarios in Aculco, State of Mexico," *J. Clean. Prod.*, vol. 311, no. 127586, p. 127586, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127586>.
- [21] D. G. Muñiz Monzón, V. S. Figueroa Vázquez, K. V. Tapia Frías, A. F. Vallejo Ortiz, L. Anda López, and A. Angel Hernández, "Impacto ambiental en ganadería bovina de leche mediante filtración de agua contaminada en la región semiárida del norte de México," *JÓVENES EN LA CIENCIA*, vol. 14, pp. 1–7, 2022, doi: <http://doi.org/10.15174/jc.2022.3475>.
- [22] SIAP. "Convoca Agricultura a impulsar el consumo de leche en México," Disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/convoca-agricultura-a-impulsar-el-consumo-de-leche-en-mexico#:~:text=De%20acuerdo%20con%20cifras%20del,toneladas%20de%20un%20a%C3%B1o%20atr%C3%A1s.2021>.
- [23] D. A. Amaral and J. A. F. da Silva, "Whey in the industry: environmental and valorization impacts," *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, vol. 01, no. 09, pp. 41–57, Sep. 2021, doi: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/environmental-engineering-en/whey.
- [24] R. V. Darade and S. S. Ghodake, "An overview of whey beverages," *Research Journal of Animal Husbandry and Dairy Science*, vol. 3, no. 1, pp. 41–44, 2012.
- [25] E. Zandona, M. Blažič, and A. Režek Jambrak, "Whey utilization: Sustainable uses and environmental approach," *Food Technol. Biotechnol.*, vol. 59, no. 2, pp. 147–161, 2021, doi: <https://doi.org/10.17113/ftb.59.02.21.6968>
- [26] P. A. Garay et al., "Formulation of a protein fortified drink as don goat milk whey for athletes," *Small Rumin. Res.*, vol. 201, no. 106418, p. 106418, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2021.106418>
- [27] G. Shinde, R. Kumar, S. K. Chauhan, G. Shinde, V. Subramanian, and S. Nadasabapathi, "Whey Proteins: A potential ingredient for food industry- A review," *J. Dairy. Foods Home Sci.*, no. Of, 2018, doi: 10.18805/ajdfr.DR-1389

- [28] M. A. Batista, N. C. A. Campos, and M. P. C. Silvestre, "Whey and protein derivatives: Applications in food products development, technological properties and functional effects on child health," *Cogent Food Agric.*, vol. 4, no. 1, p. 1509687, 2018, doi: <https://doi.org/10.1080/23311932.2018.1509687>
- [29] B. V. Raghunath, A. Punnagaiarasi, G. Rajarajan, A. Irshad, A. Elango, and G. Mahesh kumar, "Impact of dairy effluent on environment—A review," in *Integrated Waste Management in India*, Cham: Springer International Publishing, 2016, pp. 239–249, doi: [10.1007/978-3-319-27228-3_22](https://doi.org/10.1007/978-3-319-27228-3_22)
- [30] Y. Wang and L. Serventi, "Sustainability of dairy and soy processing: A review on wastewater recycling," *J. Clean. Prod.*, vol. 237, no. 117821, p. 117821, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117821>.
- [31] M. Ahmad, M. A. Hashem, M. Z. Hossain, and M. M. Islam, "Treatment and utilization of dairy industrial waste: A review," *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 88, pp. 361–372, 2019, doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.04.003>.
- [32] G. Jaganmai and R. Jinka, "Production of lipases from dairy industry wastes and its applications," *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, vol. 5, pp. 67–73, 2017.
- [33] T. Yonar, Ö. Sivrioğlu, and N. Özengin, "Physico-chemical treatment of dairy industry wastewaters: A review," in *Technological Approaches for Novel Applications in Dairy Processing*, InTech, 2018, doi: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.77110>
- [34] A. Solís, "Lala enfrenta multa millonaria por contaminar río en Guanajuato," *FORBES*, 2017. Disponible en: <https://www.forbes.com.mx/lala-enfrenta-multa-millonaria-por-contaminar-río-en-guanajuato/>.
- [35] Nava, "Nestlé es demandada por contaminar un río y la muerte de toneladas de peces," *merca2.0*, 2020. Disponible en: <https://www.merca20.com/nestle-es-demandada-por-contaminar-un-río-y-la-muerte-de-toneladas-de-peces/#:~:text=this%20search%20box.-,Nestl%C3%A9%20es%20demandada%20por%20contaminar%20un%20r%C3%ADo,muerte%20de%20toneladas%20de%20peces&text=El%20compromiso%20social%20de%20las,un%20impacto%20>
- [36] Investigan posible contaminación del río Ctlamochita por parte de una empresa. (2023). *El Periódico*. https://el-periodico.com.ar/region/investigacion-possible-contaminacion-del-río-ctlamochita-por-parte-de-una-empresa_a6435bd61a72ddbde32c76519
- [37] PNUMA, "Índice de desperdicio de alimentos 2021". Disponible en: <https://www.unep.org/es/resources/informe/indice-de-desperdicio-de-alimentos-2021>, 2021.
- [38] P. Papademas and P. Kotsaki, "Technological utilization of whey towards sustainable exploitation," *J. Adv. Dairy Res.*, vol. 7, no. 4, p. 231, 2019, doi: [10.35248/2329-888X.7.4.231](https://doi.org/10.35248/2329-888X.7.4.231)
- [39] FAO, "The State of Food and Agriculture 2019. Moving forward on food loss and waste reduction. ". Disponible en: <https://www.fao.org/3/ca6030en/ca6030en.pdf>, 2019
- [40] B. Thompson, L. Toma, A. P. Barnes, and C. Revoredo-Giha, "The effect of date labels on willingness to consume dairy products: Implications for food waste reduction," *Waste Manag.*, vol. 78, pp. 124–134, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.05.021>
- [41] FAO, "Pérdidas y desperdicios de alimentos en América Latina y el Caribe," 2018. Disponible en: <https://www.fao.org/americas/noticias/ver/es/c/239393/#:~:text=A%20nivel%20global%2C%20entre%20un,humano%20se%20pierde%20o%20desperdicia,>
- [42] S. Kandasamy et al., "Application of whey protein-based edible films and coatings in food industries: An updated overview," *Coatings*, vol. 11, no. 9, p. 1056, 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/coatings11091056>.
- [43] K. Pame, B. Davuddin, S. Borah, J. Dutta, and P. R. Boro, "Utilization of whey and whey based preparation in processing and development of value added low-fat meat products," *Int. J. Curr. Microbiol. Appl. Sci.*, vol. 9, no. 12, pp. 3308–3315, 2020, doi: <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.912.394>
- [44] J. Camacho Flinois, R. Dando, and O. I. Padilla-Zakour, "Yogurt acid whey utilization for production of baked goods: Pancakes and pizza crust," *Foods*, vol. 8, no. 12, p. 615, 2019, doi: <https://doi.org/10.3390/foods8120615>.
- [45] F. J. Barba, "An integrated approach for the valorization of cheese whey," *Foods*, vol. 10, no. 3, p. 564, 2021, doi: <https://doi.org/10.3390/foods10030564>
- [46] A. H. Abd AL-Razaq, "Whey applications in plants," *Plant Arch.*, vol. 19, pp. 45–48, 2019.
- [47] C. G. Campbell and G. L. Feldpausch, "Invited review: The consumer and dairy food waste: An individual plus policy, systems, and environmental perspective," *J. Dairy Sci.*, vol. 105, no. 5, pp. 3736–3745, 2022, doi: [10.3168/jds.2021-20994](https://doi.org/10.3168/jds.2021-20994).
- [48] E. Sirmacekic et al., "Possibilities of using whey wastes in agriculture: Case of Turkey," *Energies*, vol. 15, no. 24, p. 9636, 2022, doi: <https://doi.org/10.3390/en15249636>.
- [49] L. Garg and K. Kumar, "Industrial applications of whey," *Pharma Innov.*, vol. 10, no. 2, pp. 387–390, 2021, doi: <https://doi.org/10.22271/tpi.2021.v10.i2e.5695>.
- [50] W. N. Baba, D. J. McClements, and S. Maqsood, "Whey protein-polyphenol conjugates and complexes: Production, characterization, and applications," *Food Chem.*, vol. 365, no. 130455, p. 130455, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130455>.

Cómo citar este artículo:

Lizárraga-Chaidez, M., Mendoza-Sánchez, M., Abadía-García, L., & García-Pérez, J. (2023). El inocente impacto ambiental del suero de la leche. *EPISTEMUS*, 17(35). <https://doi.org/10.36790/epistemus.v17i35.316>

