

Challenges and Valorization of Dairy Whey in Peru: A Systematic Literature Review

Guadalupe Sheyla Gallegos Tapia, Bach.¹, Michael Johnny Montesinos Ccahua, Bach.², Italo Treviño-Zevallos, Dr.³
^{1,2,3}Universidad Tecnológica del Perú (UTP), Av. Tacna y Arica 160, Arequipa, Perú
1512999@utp.edu.pe, U17201106@utp.edu.pe, itrevino@utp.edu.pe

Abstract– *The Peruvian dairy industry generates large annual volumes of whey, a by-product from cheese and other dairy product manufacturing. Despite its high organic load and nutritional value, whey has historically been discarded without treatment, resulting in significant environmental damage and missed opportunities for industrial use. This study aimed to identify the main factors contributing to this problem and to evaluate the potential applications of whey within the Peruvian context. A systematic literature review was conducted using the PICO and PRISMA frameworks, based on structured searches in Scopus and Scielo databases. The findings reveal an incipient use of whey in the country, mainly constrained by the lack of infrastructure, appropriate technologies, and technical knowledge for its valorization. Nonetheless, several low-cost and feasible applications were identified, particularly suitable for small-scale producers, including fermented beverages, ricotta cheese, confectionery, biogas, and functional protein-rich ingredients such as β -lactoglobulin and α -lactalbumin. Overall, this review highlights the urgent need to promote sustainable valorization strategies and technological transfer mechanisms that could reposition whey as a strategic resource for the Peruvian food and pharmaceutical industries.*

Keywords– *Whey, proteins, lactose, waste recovery, industrial applications.*

Problemática y valorización del suero lácteo en el Perú: una revisión sistemática de literatura

Guadalupe Sheyla Gallegos Tapia, Bach.¹, Michael Johnny Montesinos Ccahua, Bach.², Italo Treviño-Zevallos, Dr.³
^{1,2,3}Universidad Tecnológica del Perú (UTP), Av. Tacna y Arica 160, Arequipa, Perú
1512999@utp.edu.pe, U17201106@utp.edu.pe, itrevino@utp.edu.pe

Resumen– *La industria láctea peruana genera anualmente grandes volúmenes de suero lácteo, subproducto resultante de la elaboración de quesos y otros derivados lácteos. A pesar de su elevada carga orgánica y valor nutricional, este subproducto ha sido históricamente desechado sin tratamiento, ocasionando impactos ambientales significativos y desaprovechando su potencial como insumo industrial. El presente estudio tuvo como objetivo identificar las causas principales que originan esta problemática y evaluar las aplicaciones potenciales del suero lácteo en el contexto peruano. Para ello, se realizó una revisión sistemática de literatura utilizando los enfoques PICO y PRISMA, con búsquedas estructuradas en las bases de datos Scopus y Scielo. Los resultados evidencian un uso incipiente del suero lácteo en el país, limitado por la falta de infraestructura, tecnologías apropiadas y conocimientos técnicos para su valorización. Asimismo, se identificaron aplicaciones de bajo costo y alta viabilidad, especialmente relevantes para pequeños productores, tales como la elaboración de bebidas fermentadas, requesón, confitería, biogás y compuestos funcionales ricos en proteínas como la β -lactoglobulina y la α -lactoalbúmina. En conjunto, los hallazgos de esta revisión ponen en evidencia la urgencia de impulsar políticas de aprovechamiento sostenible y transferencia tecnológica que permitan transformar al suero lácteo en un recurso estratégico para la industria alimentaria y farmacéutica peruana.*

Keywords– *Suero, proteínas, lactosa, valorización de residuos, aplicaciones industriales.*

I. INTRODUCCION

En las últimas dos décadas, la producción láctea en el Perú ha experimentado un crecimiento sostenido del 4% anual. Este incremento permitió pasar de una producción de 950 mil toneladas en el año 2000 a 1,95 millones de toneladas en 2016, de las cuales aproximadamente el 40% fue destinado a empresas lecheras y queseras artesanales [1]. En ese contexto, las pequeñas queserías generan volúmenes considerables de suero lácteo, que oscilan entre los 2,000 y 10,000 litros por operación [2]. Esta generación masiva de suero lácteo sin procesar representa un desafío ambiental significativo: cada 1,000 litros pueden producir alrededor de 35 kilogramos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y 68 kilogramos de demanda química de oxígeno (DQO), niveles comparables a la carga contaminante diaria de unas 400 personas [3].

Por cada 100 kilogramos de leche destinados a la elaboración de queso, se obtiene en promedio 9,3 kg de queso fresco y 90,7 kg de suero lácteo. Este subproducto está compuesto principalmente por agua (93%), lactosa (5%), proteínas (0,85%), minerales (0,53%) y grasa (0,36%), lo cual lo convierte en una fuente valiosa de compuestos solubles con

potencial de aprovechamiento industrial [4–6]. Sin embargo, pese al valor nutricional y biotecnológico del suero, la realidad nacional evidencia que el 90% de la leche producida por pequeñas empresas termina siendo desechada [8], lo que incrementa su impacto ambiental cuando no se gestiona adecuadamente.

El tratamiento deficiente del suero lácteo representa una fuente importante de aguas residuales con alto nivel de contaminación. Se estima que, por cada kilo de queso producido, se generan cerca de 9 litros de suero [9, 10]. En la mayoría de los casos, este subproducto es vertido directamente en los desagües, canales de riego o en terrenos agrícolas, provocando daños ambientales como la eutrofización de cuerpos de agua, degradación de suelos e incluso corrosión de infraestructuras cercanas, además de constantes reclamos por parte de las poblaciones aledañas [13, 14, 16].

Según datos del Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI), en 2018 se generaron más de 2 millones de toneladas de leche fresca en el país, con Cajamarca, Arequipa y Lima como las principales regiones productoras, sumando más del 50% de la producción nacional [11]. De esta producción, cerca del 45% se emplea en la fabricación artesanal de queso y su posterior comercialización informal o por "porongueo" [12]. Esta dinámica contribuye diariamente a la generación de aproximadamente 400,000 litros de suero lácteo no tratado [13], consolidando su condición de residuo preocupante en términos de impacto ambiental.

A pesar de este panorama, el suero lácteo posee un notable potencial de valorización debido a su contenido de compuestos bioactivos y nutrientes que representan el 55% del valor nutricional total de la leche [15]. Estudios recientes resaltan su utilidad en diversas aplicaciones alimentarias, farmacéuticas y tecnológicas [17, 18]. No obstante, en el Perú, persisten limitaciones importantes asociadas a la escasa información técnica, baja transferencia tecnológica, y altos costos de implementación de estrategias para su uso. Factores como la cantidad y calidad del suero, accesibilidad a tecnologías, capacitación técnica y normativas ambientales restrictivas, dificultan su aprovechamiento eficiente, especialmente entre pequeños productores [13, 18, 19].

Frente a esta situación, el presente trabajo tiene como objetivos identificar las causas principales que explican la problemática del manejo del suero lácteo en el contexto peruano, así como analizar sus usos y aplicaciones potenciales. Se busca brindar un aporte técnico que contribuya a mitigar el impacto ambiental de este subproducto y, al

mismo tiempo, abrir nuevas oportunidades productivas y económicas para los actores del sector lechero.

II. METODOLOGÍA

El estudio corresponde a una investigación básica, de nivel descriptivo-explicativo y con un enfoque cualitativo-documental. Para su desarrollo se empleó una revisión sistemática de literatura científica, orientada a identificar las principales problemáticas asociadas al manejo del suero lácteo en el Perú, así como sus aplicaciones industriales potenciales. Con este fin, se utilizó el enfoque PICO para formular la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es la problemática del mal manejo del suero lácteo en el Perú y qué aplicaciones industriales pueden implementarse para disminuir su impacto ambiental y valorizar su uso?

La pregunta permitió establecer una estrategia de búsqueda mediante palabras clave en las bases de datos Scopus y SciELO. Las ecuaciones de búsqueda fueron adaptadas a cada plataforma. Para Scopus, se empleó: (whey OR lactose OR "milk whey" OR "cheese whey" OR probiotics) AND ("whey protein" OR "industrial applications" OR "treatment of effluents" OR "solid residue") AND ("whey components" OR "whey treatment" OR "nutritional value" OR "lactic acid" OR "acid whey") AND ("waste valorization" OR "dietary supplements").

En el caso de SciELO, se utilizó: ("suero lácteo" OR "suero de leche") AND ("proteínas de suero" OR "aplicaciones industriales" OR "tratamiento de efluentes" OR "residuos sólidos") AND ("componentes del suero" OR "ácido láctico" OR "suero ácido") AND ("valorización de residuos").

Adicionalmente, se incorporaron documentos relevantes identificados por búsqueda manual y por análisis de citas clave en los textos revisados [9], [20]–[22].

La identificación, depuración y selección de estudios se realizó siguiendo la guía metodológica PRISMA. Para ello, se definieron los siguientes criterios de inclusión:

- CI1. Estudios que aborden de forma directa la problemática ambiental del suero lácteo.
- CI2. Investigaciones que propongan aplicaciones industriales del suero lácteo.
- CI3. Estudios que presenten resultados con indicadores de contaminación (como DBO, DQO, entre otros).
- CI4. Trabajos que propongan estrategias para la reducción del impacto ambiental del suero.

Asimismo, se establecieron los siguientes criterios de exclusión:

- CE1. Documentos publicados antes del año 2012.
- CE2. Publicaciones en idiomas distintos al español o inglés.

- CE3. Estudios incluidos únicamente en libros o documentos no arbitrados.
- CE4. Investigaciones exclusivamente de laboratorio sin aplicación a escala piloto o industrial.

El proceso completo de selección de estudios puede visualizarse en la Figura 1. La selección de los estudios siguió rigurosamente las etapas del protocolo PRISMA (identificación, cribado, elegibilidad e inclusión). Este procedimiento, junto con los criterios de inclusión y exclusión previamente definidos, garantizó la transparencia y replicabilidad del proceso. En total, se identificaron 208 registros en Scopus y SciELO, de los cuales, tras aplicar los filtros correspondientes, se seleccionaron finalmente 29 estudios que constituyen la base del presente análisis

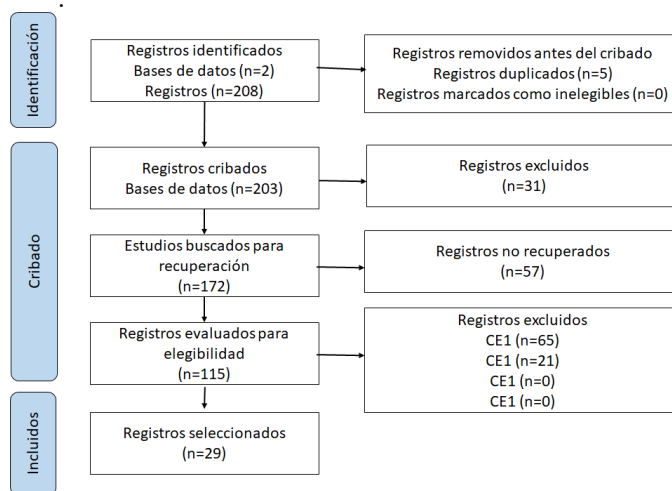


Fig. 1. Flujograma de trabajos seleccionados de acuerdo con la metodología PRISMA.

Finalmente, los estudios seleccionados se analizaron considerando dos ejes principales: (i) la problemática ambiental derivada del manejo inadecuado del suero lácteo y (ii) las aplicaciones potenciales que permiten su valorización en distintos sectores productivos.

III. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en esta revisión sistemática permiten dimensionar con mayor claridad la problemática ambiental derivada del inadecuado manejo del suero lácteo en el Perú, así como las oportunidades de aprovechamiento que este subproducto ofrece. El análisis de los 29 estudios seleccionados evidencia que cerca del 90 % de las investigaciones identifican al suero lácteo como el principal residuo generado durante la elaboración de queso, producto de la precipitación de la caseína y su separación del resto de la leche, generando un líquido con alto contenido de lactosa, proteínas solubles y minerales [7], [18], [23]–[25].

Si bien el queso es la fuente predominante, también se ha documentado la generación de suero lácteo en la producción de otros derivados como el yogurt y la mantequilla, aunque en

menor volumen. En estos casos, las propiedades fisicoquímicas del suero pueden variar, influenciadas por el tipo de fermentación y el tratamiento tecnológico aplicado, lo cual condiciona su potencial de valorización [26], [27].

En cuanto al volumen, se estima que la producción anual de suero lácteo en el Perú alcanza los 20 millones de toneladas (Mt), una cifra considerable, aunque claramente inferior frente a otros países de la región. Colombia, por ejemplo, supera los 80 Mt anuales, mientras que Brasil también registran volúmenes mayores, lo que refleja un desarrollo industrial más consolidado en este rubro [23], [28], [30], [31], [35], [39]. Esta brecha no solo es cuantitativa, sino también cualitativa, ya que en el contexto peruano gran parte del suero continúa siendo desechado sin tratamiento, especialmente en zonas rurales o de producción artesanal.

La Figura 2 muestra una comparación de la producción de suero lácteo entre Perú y otros países, evidenciando la brecha en volumen y subutilización. Este panorama resalta la urgencia de implementar estrategias de valorización adaptadas a las condiciones locales, que aprovechen el potencial del suero lácteo como materia prima para la elaboración de alimentos funcionales, suplementos nutricionales, fertilizantes y biocombustibles.

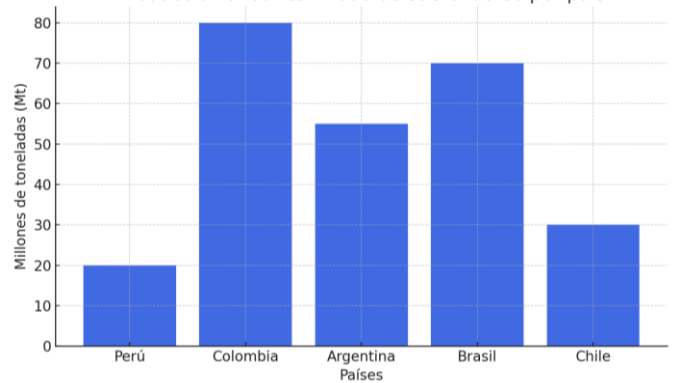


Fig. 2. Producción de suero lácteo en toneladas al año en América latina y Perú.

El contenido nutricional del suero lácteo varía en función de diversos factores como el tipo de leche utilizada, el tipo de queso producido y el proceso tecnológico empleado durante su elaboración [29]. Esta variabilidad ha permitido clasificar al suero en dos tipos principales: suero ácido, que se genera principalmente durante la producción de quesos frescos mediante acidificación, y suero dulce, que resulta de la coagulación enzimática en quesos madurados. Cada tipo presenta diferencias en su composición fisicoquímica y valor nutricional, lo que incide directamente en sus posibles aplicaciones industriales (Tabla I).

En Perú, ambos tipos de suero son utilizados, aunque con poco aprovechamiento a nivel comercial. Las principales diferencias en la composición química entre el suero ácido y el suero dulce, destacando su contenido en lactosa, proteínas, minerales y otros sólidos disueltos [7]. Estas características no solo determinan su potencial nutricional, sino también sus propiedades funcionales en los sistemas alimentarios. Entre

llestas destacan las propiedades gelificantes, emulsificantes, espesantes, aglutinantes de agua y espumantes o batidoras, lo cual convierte al suero lácteo en un ingrediente versátil para su incorporación en diversos productos alimenticios y nutracéuticos [23], [24].

Tabla I.
COMPONENTES DEL SUERO LÁCTEO ÁCIDO Y DULCE ([7])

Elementos	Suero lácteo ácido (g/L)	Suero lácteo dulce (g/L)
Cloruros	1,1	1,1
Lactato	6,3	1,9 – 2,9
Fosfatos	1,9 – 4,4	0,9 – 2,9
Calcio	1,3 – 1,7	0,5 – 0,7
Proteína	7,0 – 9,0	7,0 – 11,0
Lactosa	43,00 – 45,0	47,0 – 51,0
Sólidos	62,9 – 69,9	62,9 – 69,9

Problemática del suero lácteo en el Perú

El manejo inadecuado del suero lácteo constituye uno de los principales desafíos para la industria quesera en el Perú, especialmente para las pequeñas y medianas productoras. La mayoría de estas empresas no dispone del equipamiento ni de la infraestructura tecnológica necesaria para su procesamiento adecuado, lo que dificulta su aprovechamiento e incrementa su impacto ambiental [16], [23], [25], [28]. A ello se suma el elevado costo asociado al tratamiento del suero, así como limitaciones logísticas como la carencia de sistemas de transporte adecuados y las dificultades para su almacenamiento, debido a su alta susceptibilidad al deterioro microbiano por bacterias y hongos en tiempos cortos de exposición.

Este problema se agrava en el caso de las productoras artesanales, que a menudo carecen de recursos para implementar soluciones sostenibles y recurren a la eliminación directa del suero en cuerpos hídricos. Cerca del 80 % de los estudios revisados coinciden en señalar que el suero lácteo es vertido sin tratamiento previo en ríos, lagos, arroyos, acequias, drenajes, mantos acuíferos, así como directamente en el suelo o en cultivos agrícolas [7], [16], [18], [23], [25], [28], [30]–[32]. Estas prácticas no solo contravienen principios de manejo ambiental adecuado, sino que generan consecuencias severas sobre la biota local. Se ha reportado que los vertidos de suero alteran la composición fisicoquímica del suelo, afectando su estructura, fertilidad y capacidad de retención hídrica, y que también provocan fenómenos de eutrofización en ecosistemas acuáticos, al incrementar la carga orgánica y promover el crecimiento excesivo de microorganismos [7], [26], [29]–[31].

Aplicaciones potenciales del suero lacteo

El suero lácteo representa una oportunidad poco aprovechada en el Perú, especialmente en el sector artesanal y rural, donde su eliminación inadecuada genera impactos ambientales significativos. Considerando la elevada generación de suero lácteo en regiones productoras como Cajamarca y Arequipa, su valorización puede convertirse en una estrategia clave para promover el desarrollo económico

local, generar empleo y reducir la carga contaminante de las industrias queseras.

Desde el punto de vista nutricional, el suero contiene proteínas de alta calidad como la α -lactoalbúmina (α -Lg), β -lactoglobulina (β -Lg), inmunoglobulinas, lactoferrina, lactoperoxidasa y albúmina sérica, con propiedades bioactivas e inmunológicas. Estas proteínas podrían utilizarse en la formulación de suplementos nutricionales para poblaciones vulnerables, en la producción de alimentos funcionales destinados al mercado nacional e incluso para la exportación, aprovechando el crecimiento del sector nutracéutico [23], [24], [30]. El aprovechamiento del suero como fuente de ingredientes funcionales también permitiría diversificar la oferta de productos lácteos nacionales y mejorar la competitividad de los pequeños productores.

A continuación, se detallan las concentraciones estimadas de las principales proteínas presentes en el suero lácteo, lo que refuerza su potencial como insumo industrial (Tabla II):

Tabla II
CONCENTRACIONES DE LAS PRINCIPALES PROTEÍNAS DEL SUERO LÁCTEO

Proteína	Concentración (g/L)
Albúmina-sérica	0,30
Lacto-ferrina	0,09
α -lactoalbúmina	1,30
β -lactoglobulina	2,80
Inmunoglobulinas	0.66

La revisión de literatura muestra que el suero lácteo posee un notable potencial para ser transformado en nuevos productos alimenticios, especialmente en el ámbito artesanal. Esto representa una oportunidad significativa para las pequeñas queserías, que suelen enfrentar limitaciones en infraestructura, tecnología y acceso al mercado. Aprovechar este subproducto mediante tecnologías simples y de bajo costo permitiría no solo reducir el impacto ambiental de su disposición, sino también generar valor agregado y diversificar la oferta productiva. Entre los productos derivados más viables destacan el requesón, las bebidas fermentadas (como el suero de kéfir) y las bebidas carbonatadas, todos ellos factibles de elaborar con equipos básicos como tanques, marmitas, tinas, mezcladoras y agitadores. Además, estos productos poseen aceptación creciente en el mercado local y regional por sus propiedades nutricionales y funcionales [25], [31]. El uso de suero dulce o ácido también determina el tipo de producto a obtener. Por ejemplo, el suero dulce se emplea con mayor frecuencia en alimentos de consumo directo y confitería, mientras que el suero ácido se orienta a procesos fermentativos, producción de biomasa microbiana, fórmulas lácteas infantiles y obtención de ácido láctico. Las aplicaciones específicas según el tipo de suero lácteo se resumen en la Tabla III.

Tabla III
APLICACIONES POTENCIALES DEL SUERO LÁCTEO

Tipo de suero	Aplicaciones potenciales	Referencia
---------------	--------------------------	------------

Suero dulce	Confitería	[16] [29] [21] [18] [32] [24]
	Requesón	[18] [32] [36] [33] [23]
	Bebidas carbonatadas	[16] [18] [31] [32] [37] [34]
	Bebidas fermentadas	[7] [29] [21] [18] [31] [32][37] [23] [28] [34]
	Cultivo de kéfir	[32] [36]
	Mantequilla de suero	[23] [20] [38]
Suero ácido	Biomasa microbiana	[7] [18]
	Cultivos iniciadores	[32] [36]
	Bebidas funcionales	[16] [21] [30]
	Fórmulas lácteas	[7] [37]
	Ácido láctico	[7] [33] [28]

En el contexto peruano, el uso del suero lácteo aún se encuentra en una etapa incipiente. La revisión de literatura revela que el 45 % del total procesado se utiliza en forma líquida, principalmente como suplemento en la alimentación animal, especialmente en áreas rurales donde se elaboran productos lácteos de manera artesanal [18], [40], [41]. Otro 30 % del suero es transformado en polvo, a través de procesos de secado, lo cual permite su almacenamiento, transporte y comercialización con mayor eficiencia. Esta forma se emplea comúnmente en la elaboración de alimentos balanceados y suplementos, particularmente por empresas de mediana escala [16], [29], [36]. Asimismo, un 15 % se destina a la obtención de lactosa mediante técnicas de fermentación y cristalización, aprovechándose como ingrediente funcional en diversas industrias. El 10 % restante corresponde al procesamiento del suero para obtener concentrados y aislados proteicos, empleando tecnologías como microfiltración y evaporación. Este tipo de productos, con alto valor agregado, tiene aplicaciones en la industria farmacéutica, nutricional y deportiva [23], [30]. Esta distribución porcentual evidencia que, aunque existe un conocimiento básico sobre los usos del suero lácteo, su aprovechamiento sigue concentrándose en aplicaciones de bajo costo y limitada transformación tecnológica, lo que resalta la necesidad de fomentar el desarrollo de infraestructura y transferencia tecnológica en el país (ver Fig. 3).

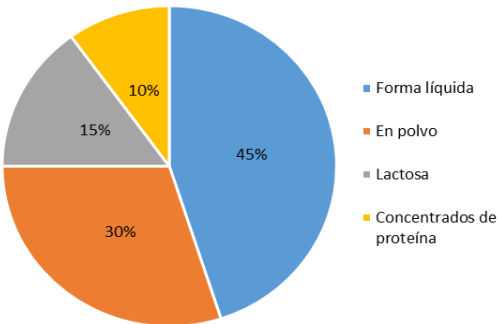


Fig. 3. Uso conocido del suero lácteo en el Perú

Alrededor del 17% de los estudios analizados mencionan formas de reducir la contaminación producida por el mal manejo del suero lácteo, entre las principales tenemos: el aprovechamiento del suero lácteo a través de la economía circular donde se puede obtener distintos productos como las bebidas, cerveza artesanal y productos para confitería, otra opción sería la reutilización de agua de permeados del suero en procesos de limpieza [23, 28, 30, 36]. Otros estudios indican que la reutilización es la manera más eficiente de reducir su contaminación. Para realizar ello se puede usar los siguientes procesos: la hidrólisis, diafiltración, electrodialisis, ósmosis inversa, evaporación, liofilización, nanofiltración, pasteurización [22, 23, 28, 31, 37], siendo las más usadas y de bajo costo la fermentación, ultrafiltración y concentración [18, 22, 30, 39]. Diversos estudios proponen también soluciones como la explotación de sus propiedades bioactivas, funcionales y nutritivas en la elaboración de producto por la industria alimentaria y uso en la medicina (farmacéutica), por otro lado, algunos autores resaltan como posibilidad de solución la creación de plantas de biogás a base suero lácteo, además de la obtención de aislados y concentrados de suero lácteo e hidrolizados de proteína de suero, por último, el suero lácteo resultaría un excelente agente intermediario en la encapsulación de bacterias [21, 23, 24, 26, 31, 35, 37].

Finalmente se denota en la literatura que el suero lácteo posee un alto valor agregado y gran potencial para la generación de nuevos productos alimenticios, así como, una gran variedad de opciones de aprovechamiento en la industria alimentaria, química, cosmética y biomédica [32, 35, 37, 38]. Por último, para evitar la contaminación ambiental por suero lácteo se puede implementar fácilmente los procesos de tecnología de membranas en las industrias pequeñas con el fin de aumentar la eficiencia en su diseño de procesos y al mismo tiempo la reducción de costos [20, 23, 24, 28, 42, 43].

IV. DISCUSIÓN

El Perú se posiciona como uno de los principales productores de suero lácteo en América Latina, con una producción estimada de 20 millones de toneladas anuales [23], [28], [30], [31], [35], [39]. Sin embargo, este valor podría estar subestimado, ya que estudios previos reportan un crecimiento sostenido de la productividad del suero lácteo de aproximadamente 4 % anual en las últimas dos décadas [1], [7], [11]. Esta tendencia refleja una expansión constante del sector lácteo, especialmente de la producción artesanal de quesos y derivados. Los hallazgos de esta revisión confirman que el suero lácteo no solo es generado durante la elaboración de quesos, sino también en la fabricación de productos como mantequilla y yogurt [7], [18], [23]–[27]. Esto concuerda con lo reportado por [9] y [16] en sus estudios sobre bebidas probióticas de suero lácteo, quienes definen al suero como el líquido resultante de la separación de las micelas de caseína durante la coagulación de la leche. Por tanto, el origen del suero y su proceso de obtención inciden directamente en sus propiedades fisicoquímicas y nutricionales.

La composición del suero lácteo, como se ha discutido, varía en función de la leche utilizada, el tipo de queso y el proceso tecnológico aplicado. La mayoría de estudios coinciden en la existencia de dos tipos principales: suero dulce y suero ácido, con características diferenciadas en cuanto a contenido de lactosa, proteínas y minerales [23], [24]. Esta clasificación no es reconocida por algunos autores como [3] y [12], quienes argumentan que la composición es relativamente homogénea. No obstante, la diversidad de procesos artesanales y condiciones de producción en el Perú podría explicar estas divergencias.

Uno de los principales problemas identificados en esta revisión es el inadecuado manejo del suero lácteo, especialmente en pequeñas y medianas industrias queseras. Estas carecen del equipamiento necesario, infraestructura adecuada y personal capacitado para su tratamiento [16], [23], [25], [28]. La situación es aún más crítica en las plantas artesanales, donde el suero es vertido directamente a cuerpos de agua, suelos agrícolas y sistemas de drenaje sin ningún tipo de tratamiento previo, como documentan numerosos estudios [7], [23], [25], [26], [28]–[32]. Estas prácticas provocan impactos ambientales significativos, deteriorando la calidad del agua y alterando la estructura del suelo, lo que puede llevar a su infertilidad a largo plazo [16]–[18].

En cuanto a la caracterización del impacto ambiental, los estudios coinciden en el uso de dos parámetros clave: la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO). En general, se reportan valores de DBO entre 35,000 y 64,000 mg/L, y de DQO entre 60,000 y 89,000 mg/L [3], [13], [18], [25], [27], [30], [33], [34]. La alta variabilidad observada entre estudios evidencia la necesidad de estandarizar estos indicadores, con el fin de establecer protocolos uniformes que permitan cuantificar los daños ambientales y establecer medidas correctivas basadas en evidencia.

Respecto a su valorización, se ha identificado que el suero lácteo puede ser transformado en una amplia gama de productos alimenticios como bebidas fermentadas, requesón, confitería, panadería, mantequilla de suero, entre otros [23], [24], [30], [31]. Esta diversidad de aplicaciones representa una oportunidad para la generación de valor agregado y empleo, especialmente en zonas rurales. No obstante, la adopción de estas tecnologías aún es limitada, debido a restricciones técnicas y económicas.

Más allá de estas limitaciones, los estudios también evidencian experiencias de viabilidad en otros países de la región. En Colombia se han desarrollado plantas piloto para la producción de biogás a partir de suero, alcanzando eficiencias energéticas superiores al 70 % [23], [34]. En México, se reporta la incorporación de suero en bebidas fermentadas y productos de confitería con creciente aceptación comercial [25], [31]. Estos casos muestran que, con apoyo técnico y financiamiento, es posible transformar un residuo altamente contaminante en productos con valor agregado, lo cual representa una oportunidad estratégica para el contexto peruano.

Finalmente, a pesar de las limitaciones en la disponibilidad de estudios sobre el uso del suero lácteo en el contexto peruano, los resultados de esta revisión constituyen una base sólida para futuras investigaciones. Este trabajo representa uno de los primeros esfuerzos sistemáticos por evaluar el estado del arte de la problemática y el aprovechamiento del suero lácteo en el país. Urge, por tanto, la implementación de políticas públicas e incentivos orientados a la valorización de este subproducto, promoviendo su transformación en un recurso estratégico para las industrias alimentaria, agrícola y farmacéutica peruanas. Desde la perspectiva de la ingeniería y el emprendimiento, los hallazgos también resaltan el potencial de desarrollar tecnologías accesibles y escalables, como biodigestores modulares, sistemas de microfiltración y biorreactores comunitarios, que favorezcan la generación de productos sostenibles. Estas alternativas pueden articularse en cadenas de valor locales mediante emprendimientos rurales y esquemas de cooperación público-privada, en línea con la visión de IEEE de impulsar soluciones de ingeniería con impacto económico y social.

V. CONCLUSIÓN

La problemática del suero lácteo en el Perú se debe principalmente a su inadecuado manejo, la carencia de procesos de valorización, el limitado conocimiento técnico sobre su aprovechamiento y la falta de infraestructura y recursos económicos en la mayoría de las plantas procesadoras, especialmente las artesanales. Estos factores han contribuido a que este subproducto sea desechado de manera indiscriminada en cuerpos de agua y suelos, generando impactos negativos sobre el ambiente y la salud pública.

Sin embargo, el suero lácteo posee un alto valor nutricional y funcional, lo que lo convierte en una materia prima con un gran potencial de uso industrial. Sus aplicaciones abarcan diversos sectores, incluyendo la elaboración de alimentos como requesón, bebidas fermentadas, confitería, panificación y embutidos, así como en la industria farmacéutica, donde sus componentes bioactivos como la lactoferrina, inmunoglobulinas y proteínas solubles son valorados por sus propiedades inmunológicas y antioxidantes.

El aprovechamiento integral del suero lácteo representa una oportunidad estratégica para mitigar su impacto ambiental, reducir desperdicios y promover una economía circular en el sector lácteo. Para ello, se requiere el fortalecimiento de capacidades técnicas, la promoción de políticas públicas orientadas a su valorización y el impulso de tecnologías accesibles para las pequeñas y medianas industrias. Con una adecuada gestión, este subproducto podría transformarse en un recurso de alto valor agregado para la economía peruana.

REFERENCIAS

[1] Laive, "Estructura de la oferta láctea en el Perú," Lampadia, pp. 1–8, 2013, Accessed: Jun. 21, 2023. [Online]. Available:

https://www.lampadia.com/assets/uploads_documentos/images/477b7-estructura-de-la-oferta-lactea-en-el-peru.pdf

[2] M. Montero Lagunes, F. I. Juárez Lagunes, and H. S. García Galindo, "Fermented whey with lactobacilli for calf feeding in the tropics," *Agrociencia*, vol. 43, no. 6, pp. 585–593, 2009, Accessed: Jun. 21, 2023. [Online]. Available: <https://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v43n6/v43n6a4.pdf>

[3] M. L. Castells et al., "Valorización del lactosuero: Alternativas de valorización de suero de quesería," *Transferencia Tecnológica*, pp. 22–46, 2017, Accessed: Jun. 21, 2023. [Online]. Available: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/191130/1/Ana-Krolow-lactosuero.pdf>

[4] M. S. Molero Méndez, C. Flores Rondón, M. Leal Ramírez, and W. J. Briñez Zambrano, "Evaluación sensorial de bebidas probióticas fermentadas a base de lactosuero," *Revista Científica Universidad de Zulia*, vol. 27, no. 2, pp. 70–77, 2017, Accessed: Jun. 21, 2023. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/journal/959/9591040002/html/>

[5] J. M. Pais Chanfrau, J. Núñez Pérez, M. V. Lara Fiallos, L. M. Rivera Intrigo, L. E. Trujillo Toledo, and M. J. Cuaran Guerrero, "Milk whey valorization: An overview from Biotechnology," *Revista Bionatura*, vol. 2, no. 4, pp. 468–476, 2017, doi: 10.21931/RB/2017.02.04.11.

[6] G. W. Smithers, "Whey and whey proteins—From 'gutter-to-gold,'" *Int Dairy J.*, vol. 18, no. 7, pp. 695–704, Jul. 2008, doi: 10.1016/J.IDAIRYJ.2008.03.008.

[7] R. A. Parra Huertas, "Lactosuero: importancia en la industria de alimentos," *Rev Fac Nac Agron Medellín*, vol. 62, no. 1, pp. 4967–4982, 2009, Accessed: May 07, 2023. [Online]. Available: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472009000100021&lng=en&nrm=iso&tlng=es

[8] C. Fernández Rodríguez, E. J. Martínez Torres, A. Morán Palao, and X. Gómez Barrios, "Procesos biológicos para el tratamiento de lactosuero con producción de biogás e hidrógeno. Revisión bibliográfica," *Revista ION*, vol. 29, no. 1, pp. 47–62, Jun. 2016, doi: 10.18273/revion.v29n1-2016004.

[9] G. Vela Gutierrez, M. Castro Mundo, A. Caballero Roque, and J. Ballinas Diaz, "Bebida probiótica de lactosuero adicionada con pulpa de mango y almendras sensorialmente aceptable por adultos mayores," *Revista de la Ciencia, Tecnología e Ingeniería de los Alimentos*, vol. 11, no. 2, pp. 9–20, 2012, Accessed: Jun. 21, 2023. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/258519582_Bebida_probiotica_de_lactosuero_adicionada_con_pulpa_de_mango_y_almendras_sensorialmente_aceptable_por_adultos_mayores

[10] J. P. Kushwaha, V. C. Srivastava, and I. D. Mall, "Organics removal from dairy wastewater by electrochemical treatment and residue disposal," *Sep Purif Technol*, vol. 76, no. 2, pp. 198–205, Dec. 2010, doi: 10.1016/J.SEPPUR.2010.10.008.

[11] Ministerio de Agricultura y Riego, "Producción pecuaria y avícola," *Anuario Estadístico*, 2019, Accessed: Jun. 21, 2023. [Online]. Available: <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2803273/Compendio%20del%20anuario%20%22PRODUCCI%C3%93N%20GANADERA%20Y%20AV%C3%8DCOLA%22%202018.pdf>

[12] M. Zavala Pope, "Análisis del sector lácteo peruano," *Ministerio de Agricultura*, pp. 1–33, 2010, [Online]. Available: <http://www.minag.gob.pe/>

[13] E. Valencia Denicia and Ramírez Castillom María Leticia, "La industria de la leche y la contaminación del agua," *Elementos: Ciencia y cultura*, vol. 16, no. 73, pp. 27–31, 2009, [Online]. Available: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=29411996004>

[14] J. F. Faria, A. C. García, and A. C. García, "Eficiencia en la concentración de la proteína de lactosuero con una planta móvil de ultrafiltración y nanofiltración," *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad del Zulia*, vol. 13, no. 5, pp. 347–351, Sep. 2013, Accessed: Jun. 21, 2023. [Online]. Available: <https://produccioncientificaluz.org/index.php/cientifica/article/view/14997>

[15] R. Álvarez Fernández, D. Muñiz, F. Riera Rodríguez, and A. Álvarez, "Avances en el fraccionamiento de proteínas del lactosuero no desnaturalizadas," *Alimentación, equipos y tecnología*, vol. 23, no. 192, pp. 47–58, 2014, Accessed: Jun. 21, 2023. [Online]. Available: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=964313>

- [16] C. Asas, C. Llanos, J. Matavaca, and D. Verdezoto, "El lactosuero: impacto ambiental, usos y aplicaciones vía mecanismos de la biotecnología," *Agroindustrial Science*, vol. 11, no. 1, pp. 105–116, Apr. 2021, doi: 10.17268/agroind.sci.2021.01.13.
- [17] N. Palmieri, M. B. Forleo, and E. Salimei, "Environmental impacts of a dairy cheese chain including whey feeding: An Italian case study," *J Clean Prod*, vol. 140, pp. 881–889, Jan. 2017, doi: 10.1016/J.JCLEPRO.2016.06.185.
- [18] Q. Torres Martínez and K. Romero León, "Alternativas tecnológicas para uso del lactosuero: valorización económica de residuos," *Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional*, vol. 30, no. 55, pp. 1–28, Apr. 2020, doi: 10.24836/ES.V30I55.908.
- [19] A. R. Prazeres, F. Carvalho, and J. Rivas, "Cheese whey management: A review," *J Environ Manage*, vol. 110, pp. 48–68, Nov. 2012, doi: 10.1016/J.JENVMAN.2012.05.018.
- [20] R. Betancor, A. Trujillo, and A. Quintero, "Producción de etanol a partir de suero concentrado de queso utilizando la levadura *Saccharomyces cerevisiae*," *Revista Científica Unet*, vol. 30, no. 1, pp. 267–273, 2018, Accessed: May 07, 2023. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/331315360_Produccion_de_etanol_a_partir_de_suero_concentrado_de_queso
- [21] M. Cebrián, M. Rentería, M. Gutierrez, M. Orive, D. San Martín, and J. Zufía, "Aprovechamiento integral del lactosuero generado en el sector lácteo: proyecto Valorlact," *ILE*, no. Diciembre, pp. 30–36, 2013, doi: 10.13140/RG.2.1.5178.5209.
- [22] C. Alava Viteri, M. Gómez de Illera, and J. A. Maya Pantoja, "Caracterización fisicoquímica del suero dulce obtenido de la producción de queso casero en el municipio de Pasto," *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, vol. 1, pp. 22–32, Dec. 2014, doi: 10.23850/24220582.110.
- [23] A. Figueroa Pires, N. García Marnotes, O. Díaz Rubio, A. Cobos García, and C. Dias Pereira, "Dairy by-products: A review on the valorization of whey and second cheese whey," *Foods*, vol. 10, no. 5, p. 1067, 2021, doi: 10.3390/foods10051067.
- [24] R. Saberi Rish, M. Gholizadeh Vazvani, M. Hassanisaadi, V. K. Thakur, and J. F. Kennedy, "Use of whey protein as a natural polymer for the encapsulation of plant biocontrol bacteria: A review," *Int J Biol Macromol*, vol. 234, p. 123708, Apr. 2023, doi: 10.1016/J.IJBIOMAC.2023.123708.
- [25] M. A. Hernández Cruz, G. M. Vázquez Cuevas, J. Castro Rosas, M. Hernández Juárez, and C. A. Gómez Aldapa, "Kluyveromyces marxianus, sus aplicaciones en lactosuero," *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, vol. 10, no. 20, pp. 1–9, Jan. 2023, doi: 10.29057/ICBI.V10I20.9362.
- [26] M. Míeles Cedeño, L. D. Yépez Tamayo, and L. Ramírez Cárdenas, "Elaboración de una bebida utilizando subproductos de la industria láctea," *Enfoque UTE*, vol. 9, no. 2, pp. 59–69, Jun. 2018, doi: 10.29019/ENFOQUEUTE.V9N2.295.
- [27] D. Buchanan, W. Martindale, E. Romeih, and E. Hebishy, "Recent advances in whey processing and valorisation: Technological and environmental perspectives," *Int J Dairy Technol*, vol. 76, no. 2, pp. 291–312, May 2023, doi: 10.1111/1471-0307.12935.
- [28] L. Quille Quille, O. M. Luque Vilca, and F. P. Arhuanca Ordoñez, "Potencialidades del lactosuero generado por la industria quesera y su valorización," *Revista Científica I+D Aswan Science*, vol. 1, no. 2, pp. 16–23, Dec. 2021, doi: 10.51392/RCIDAS.V1I2.10.
- [29] E. Poveda, "Suero lácteo, generalidades y potencial uso como fuente de calcio de alta biodisponibilidad," *Revista chilena de nutrición*, vol. 40, no. 4, pp. 397–403, Dec. 2013, doi: 10.4067/S0717-75182013000400011.
- [30] J. A. Gómez Soto and Ó. J. Sánchez Toro, "Producción de galactooligosacáridos: alternativa para el aprovechamiento del lactosuero. Una revisión," *Ingeniería y Desarrollo*, vol. 37, no. 01, pp. 129–158, Jun. 2022, doi: 10.14482/inde.37.1.637.
- [31] A. I. Rodríguez Basantes, C. A. Abad Basantes, A. Pérez Martínez, and K. Diéguez Santana, "Elaboración de una bebida a base de suero lácteo y pulpa de *Theobroma grandiflorum*," *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 18, no. 2, pp. 166–175, 2020, doi: 10.18684/BSAA(18)166-175.
- [32] M. B. Williams Zambrano and A. A. Dueñas Rivadeneira, "Alternativas para el aprovechamiento del lactosuero: Antecedentes investigativos y usos tradicionales.," *La Técnica: Revista de las Agrociencias*, no. 26, pp. 39–49, Jul. 2021, doi: 10.33936/LATÉCNICA.V0I26.3490.
- [33] I. K. Ramírez Rivas and A. Chávez-Martínez, "Effect of ultrasound applied to dairy whey prior to warming in the development of curd cheese," *Interciencia*, vol. 42, no. 12, pp. 828–833, 2017, Accessed: May 07, 2023. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/339/33953770008.pdf>
- [34] S. L. Blandón Navarro, D. S. Zelaya Lanuza, J. C. Arranz Ramírez, and J. A. Zamora Calero, "Evaluación de la producción de biogás a partir de suero lácteo a escala de laboratorio," *Revista Ciencia y Tecnología El Higo*, vol. 4, no. 1, pp. 29–35, Dec. 2014, doi: 10.5377/ELHIGO.V4I1.8633.
- [35] M. Á. Mazorra Manzano and J. M. Moreno Hernández, "Propiedades y opciones para valorizar el lactosuero de la quesería artesanal," *CienciaUAT*, vol. 14, no. 1, pp. 133–144, Jul. 2019, doi: 10.29059/cienciauat.v14i1.1134.
- [36] A. H. Zárate Malpica, S. Anchirai Cosquillo, S. S. Lagos Terrenos, and G. O. Bustamante Cárdenas, "Tratamiento de suero de quesería por método electroquímico," *Prospectiva Universitaria*, vol. 8, no. 2, pp. 142–145, Jan. 2011, doi: 10.26490/UNCP.PROSPECTIVAUNIVERSITARIA.2011.8.1285.
- [37] C. S. Osorio Gonzáles, F. Sandoval Salas, F. Hernández Rosas, J. V. Hidalgo Contreras, F. C. Gómez Merino, and D. A. Ávalos de las Cruz, "Potencial de aprovechamiento del suero en México," *AgroProductividad*, vol. 11, no. 7, pp. 101–106, Aug. 2018, Accessed: May 07, 2023. [Online]. Available: <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/922>
- [38] I. Barukčić, K. L. Jakopović, and R. Božanić, "Valorisation of whey and buttermilk for production of functional beverages – an overview of current possibilities," *Food Technol Biotechnol*, vol. 57, no. 4, pp. 448–460, Oct. 2019, doi: 10.17113/ftb.57.04.19.6460.
- [39] F. F. Wándega, E. R. Braga, S. R. G. S. Filho, F. F. Wándega, L. A. M. Pontesi, and R. F. Viannai, "Biorefinería para producir bioplástico y proteína a partir de suero de leche utilizando el simulador ASPEN," *Revista de Ciencia y Tecnología*, vol. 33, no. 1, pp. 47–57, 2020, Accessed: May 07, 2023. [Online]. Available: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1851-75872020000100007&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- [40] R. Thøgersen, H. C. Bertram, M. T. Vangsoe, and M. Hansen, "Krill protein hydrolysate provides high absorption rate for all essential amino acids—a randomized control cross-over trial," *Nutrients*, vol. 13, no. 9, pp. 1–16, Sep. 2021, doi: 10.3390/nu13093187.
- [41] A. Prasad and N. Kothari, "Cow products: boon to human health and food security," *Trop Anim Health Prod*, vol. 54, no. 12, pp. 1–20, Feb. 2022, doi: 10.1007/s11250-021-03014-5.
- [42] S. Vargas Díaz, H. J. Ciro Velasquez, and J. U. Sepúlveda Valencia, "Development and characterization of a fermented dairy beverage from permeated and concentrated sweet whey sweetened with tagatose," *Rev Facultad Nacional Agronomía de Medellín*, vol. 76, no. 1, pp. 10201–10212, Jan. 2023, doi: 10.15446/RFNAM.V76N1.100958.
- [43] M. Araujo Costa, D. Kuhn, G. Rabaioli Rama, D. Neutzling Lehn, and C. F. Volken de Souza, "Whey butter: a promising perspective for the dairy industry," *Brazilian Journal of Food Technology*, vol. 25, pp. 1–9, 2022, doi: 10.1590/1981-6723.08821.