

TRATAMIENTO INTEGRAL DE EFLUENTES EN LA INDUSTRIA LÁCTEA: REVISIÓN CRÍTICA DE LOS MÉTODOS DE DEPURACIÓN Y VALORIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS CONTAMINANTES

Comprehensive wastewater treatment in the dairy industry: a critical review of methods for wastewater treatment and the recovery of polluting byproducts

(Artículo de revisión)

Wara Zulema Ramos Catari¹, Gladys J. Chipana-Mendoza²

RESUMEN

La industria láctea, en particular la producción de derivados como el queso, genera un alto impacto ambiental debido a la complejidad de sus procesos y a la notable variabilidad de sus efluentes. Entre las actividades operativas más críticas se encuentran la elaboración de quesos, mantequilla y la limpieza de instalaciones, procesos que descargan aguas residuales caracterizadas por elevadas concentraciones de materia orgánica, grasas y sólidos suspendidos. El lactosuero representa el principal subproducto contaminante, alcanzando niveles severos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y demanda química de oxígeno (DQO). La práctica habitual de verter estos residuos al alcantarillado sin un tratamiento previo adecuado ocasiona serias repercusiones ecológicas, tal como se observa en diversos diagnósticos industriales. A través de una investigación fundamentada en la revisión bibliográfica de literatura científica especializada, se identificó que el monitoreo de parámetros como la DBO₅, la DQO, el pH, los sólidos suspendidos y los lípidos es vital para cuantificar la carga contaminante y seleccionar métodos de remediación adecuados. Aunque el uso de biocatalizadores como las lipasas afronta limitaciones técnicas y económicas, existen diversas alternativas eficaces para el acondicionamiento de los efluentes. Entre estas destacan las tecnologías fisicoquímicas, como la coagulación, floculación y electrocoagulación, junto con los sistemas de tratamiento biológico de tipo aerobio y anaerobio, los cuales demuestran un alto rendimiento en la degradación de la materia orgánica. Finalmente, la integración de enfoques de producción más limpia y el aprovechamiento sistemático del lactosuero resultan esenciales para reducir los volúmenes de residuo. La adopción de estas estrategias ambientales y la correcta gestión técnica de las aguas residuales permiten dar cumplimiento a las normativas de calidad hídrica vigentes, mitigando de manera sostenible las externalidades negativas sobre los ecosistemas acuáticos receptores.

Palabras clave: industria láctea, aguas residuales, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, tratamiento biológico.

Abstract

The dairy industry, particularly the production of dairy products such as cheese, has a significant environmental impact due to the complexity of its processes and the considerable variability of its effluents. Among the most critical operational activities are cheese and butter production and facility cleaning—processes that discharge wastewater characterized by high concentrations of organic matter, fats, and suspended solids. Whey is the main polluting byproduct, reaching high levels of biochemical oxygen demand (BOD₅) and chemical oxygen demand (COD). The common practice of discharging this waste into the sewer system without adequate pretreatment causes serious ecological impacts, as noted in various industrial assessments. Through research based on a review of the specialized scientific literature, it was determined that monitoring parameters such as BOD₅, COD, pH, suspended solids, and lipids is vital for quantifying the pollutant load and selecting appropriate remediation methods. Although the use of biocatalysts such as lipases faces technical and economic limitations, there are several effective alternatives for treating effluents. Notable among these are physicochemical technologies, such as coagulation, flocculation, and electrocoagulation, along with aerobic and anaerobic biological treatment systems, which are highly effective at degrading organic matter. Finally, the integration of cleaner production approaches and the systematic use of whey are essential for reducing waste volumes. The adoption of these environmental strategies and the proper technical management of wastewater make it possible to comply with current water quality regulations, thereby sustainably mitigating negative externalities on receiving aquatic ecosystems.

Keywords: dairy industry, wastewater, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, biological treatment.

¹ Estudiante, Octavo Semestre, Carrera de Ingeniería en Producción y Comercialización Agropecuaria, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. warazulema20@gmail.com

² Docente, Investigación y Redacción Científica, Carrera de Ingeniería en Producción y Comercialización Agropecuaria, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia. <https://orcid.org/0000-0001-8014-0385>. gjchipana@umsa.bo

INTRODUCCIÓN

Para Herrera y Corpas (2013), "las industrias relacionadas con el sector lácteo son muy variadas, tanto como los productos lácteos presentes en el mercado. Debido a su complejidad, no es posible generalizar sobre la contaminación generada, que es muy específica del tipo de industria que se considere". Asimismo, para Giraldo y Díaz (2013) "El tratamiento de efluentes con altos contenidos de grasas es una aplicación poco explorada para las lipasas; estas enzimas poseen la capacidad de catalizar la hidrólisis de grasas (triglicéridos); sin embargo, existen algunos inconvenientes como lo son la solubilidad, la inestabilidad y el alto costo".

Los principales procesos de la industria láctea que producen residuos contaminantes son los procesos de producción de quesos, cremas y mantequilla, el lavado de torres de secado y las soluciones de limpieza alcalina (CIP1 soda); se estima que el suero generado en la elaboración de quesos tiene una DBO del orden de 40.000 - 50.000 mg/L (Arango y Sanches, 2009). El queso es un producto fundamental de la industria destinándose para su elaboración el 63 % de la producción nacional de leche, se obtiene como subproducto lacto suero en volúmenes significativamente altos convirtiendo su proceso como el más importante al momento de evaluar los aspectos medio ambientales asociados por su contenido en lactosa, grasa, proteínas, minerales, vitaminas responsables de los elevados valores de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y demanda química de oxígeno (DQO) presentes en el mismo (González, 2012). El co-producto lactosuero ha sido considerado equivocadamente como un desecho, por los problemas de contaminación ambiental que genera cuando es vertido en alcantarillas y suelos.

Según Bazantes y Quispe (2019), la empresa láctea El Paraíso, ubicada en el cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi, Ecuador, procesa aproximadamente 4500 litros diarios de leche destinados a la elaboración de queso, generando durante este proceso cerca de 3580 litros de aguas residuales con una elevada carga contaminante, caracterizada por altos valores de DBO₅ y DQO, así como por la presencia de iones de sodio, grasas, sólidos en suspensión y sólidos totales; además, en las actividades de limpieza se utilizan productos químicos como detergentes, soluciones ácidas e hipoclorito de sodio, y debido a que la empresa no cuenta con un sistema adecuado para el tratamiento de estos residuos, los efluentes son descargados directamente al sistema de alcantarillado, provocando impactos ambientales negativos significativos.

En este contexto, se evidencia que la industria láctea, particularmente en la elaboración de quesos prensados, genera grandes volúmenes de aguas residuales con elevada carga orgánica, caracterizadas por altos valores de DBO₅ y DQO. Estos efluentes, si no son tratados adecuadamente, pueden provocar impactos ambientales significativos. Por ello, resulta fundamental evaluar la carga contaminante generada durante el proceso productivo, con el fin de establecer estrategias de tratamiento eficientes y sostenibles, así como promover el aprovechamiento de subproductos como el lactosuero dentro de un enfoque de producción más limpia.

METODOLOGÍA

La presente investigación corresponde a un estudio de tipo revisión bibliográfica, basado en la recopilación y análisis de información científica relacionada con la carga contaminante de las aguas residuales en la industria láctea. Para ello, se consultaron fuentes académicas como artículos científicos, tesis y publicaciones técnicas disponibles en bases de datos reconocidas, entre ellas SciELO, Redalyc y Google Académico. Los criterios de selección incluyeron la pertinencia temática, el rigor científico y la actualidad de las publicaciones. Posteriormente, la información recopilada fue analizada y sintetizada con el propósito de identificar los principales parámetros de contaminación, como la DBO₅ y la DQO, así como las alternativas de tratamiento aplicadas en este sector.

ORIGEN DE LAS AGUAS RESIDUALES

Para Secretaria del Medio Ambiente (s.f.) "Son las provenientes de actividades domésticas, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarias o de cualquier otra actividad que, por el uso de que han sido objeto, contienen materia orgánica y otras sustancias químicas que alteran su calidad original". La industria láctea produce importantes volúmenes de aguas residuales como resultado de sus procesos productivos; en muchos casos, estos efluentes son descargados directamente en cuerpos de agua sin recibir un tratamiento adecuado, lo que puede generar impactos ambientales negativos (Lopez, 2016).

La composición de las aguas residuales domésticas es altamente variable y presenta propiedades fisicoquímicas y biológicas significativamente alteradas, lo que las hace inadecuadas para el consumo humano sin un tratamiento previo; entre sus principales componentes se encuentran los sólidos suspendidos totales, compuestos orgánicos biodegradables, sustancias inorgánicas disueltas, metales pesados, nutrientes y contaminantes orgánicos prioritarios, su caracterización implica la evaluación de parámetros como el olor, color, temperatura, densidad, turbidez, sólidos totales, nitratos, sulfatos, cromo, hierro, cloruros, calcio, zinc y el pH (Osorio-Rivera et al., 2021).

AGUAS RESIDUALES EN LÁCTEOS (ELABORACIÓN DE QUESO PRENSADO)

La industria de los lácteos es cada vez es más grande y productiva, al igual que la generación de aguas residuales, que pueden representar una amenaza significativa para el medio ambiente y la salud pública; las aguas residuales provenientes de las plantas procesadoras de productos lácteos contienen altas concentraciones de materia orgánica, grasas, proteínas, azúcares, nutrientes y detergentes, lo que las convierte en un efluente altamente contaminante (Equimar, 2025).

En particular, durante la elaboración de quesos prensados, se producen aguas residuales con elevada carga orgánica, compuestas principalmente por grasas, aceites y materia orgánica disuelta; asimismo, presentan sólidos suspendidos y variaciones en el pH (acidez o alcalinidad), que en muchos casos superan los límites establecidos por la normativa ambiental (Gaibor, 2014).

COMPOSICIÓN DEL LACTOSUERO

Lizárraga-Chaidez et. al. (2023) señalan que "en la producción de lácteos, se genera una gran cantidad de suero de leche, un subproducto que ha sido tradicionalmente considerado como un residuo". El lactosuero es el principal subproducto generado durante el procesamiento de la leche en la elaboración de quesos; a pesar de su alto valor nutritivo, suele ser desaprovechado y eliminado en vertederos, lo que provoca problemas de contaminación ambiental (Williams y Dueñas, 2021).

El lactosuero es un subproducto generado en la industria láctea, compuesto principalmente por lactosa, proteínas y ciertos minerales, una pequeña fracción se destina a la alimentación animal, mientras que la mayor parte se elimina en sistemas de alcantarillado sin tratamiento previo o se vierte directamente al ambiente; la disposición continua de este residuo ha provocado impactos negativos en cuerpos de agua y suelos agrícolas (Guerrero et al., s.f.).

PARÁMETROS DE CONTAMINACIÓN

La industria láctea es fundamental para la alimentación humana, pero consume grandes cantidades de agua y genera efluentes con altos niveles de grasas, materia orgánica (DQO) y nitrógeno, lo que dificulta su tratamiento (Tuset, s.f.). Se calcula que el suero producido durante la fabricación de queso presenta una demanda bioquímica de oxígeno (DBO) muy elevada, aproximadamente entre 40.000 y 50.000 mg/L, lo que refleja su alto contenido de materia orgánica, las aguas residuales generadas por la industria láctea suelen tener un pH neutro o ligeramente alcalino; sin embargo, pueden acidificarse rápidamente debido a la fermentación de la lactosa, que produce ácido láctico (Rhenals, 2025).

Uno de los parámetros más relevantes en el análisis de aguas residuales de la industria láctea es el carbono orgánico total (COT), el cual se determina a través de la demanda química de oxígeno (DQO), ya que esta permite estimar la cantidad total de materia orgánica presente en aguas con altos niveles de materia orgánica generan un impacto negativo en los ecosistemas acuáticos, debido a que favorecen el incremento de organismos que consumen el oxígeno disponible, provocando su agotamiento y, en consecuencia, la muerte de otras formas de vida; en este contexto, se puede concluir que las concentraciones de aniones cloruro deben ser muy altas para considerarse tóxicas, mientras que incluso valores moderados de DQO pueden ocasionar efectos ambientales significativos (Fuentes y Pons, 2022).

Los parámetros fisicoquímicos permiten evaluar la carga contaminante de las aguas residuales; altos valores de DBO₅ y DQO indican una elevada concentración de materia orgánica, cuyo vertido sin tratamiento puede disminuir el oxígeno disponible en los cuerpos de agua y afectar la vida acuática. Asimismo, los sólidos suspendidos incrementan la turbidez y deterioran la calidad del agua, mientras que valores extremos de pH pueden alterar los procesos biológicos y los

ecosistemas acuáticos. Por ello, estos parámetros son fundamentales para determinar el grado de contaminación de los efluentes lácteos (Saenz-Roldan, 2013).

PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICO

Demanda química de oxígeno (DQO)

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) es un parámetro que cuantifica el oxígeno necesario para la oxidación completa de la materia orgánica presente en aguas residuales, transformándola en CO_2 y H_2O ; este valor se determina mediante una reacción química controlada donde se mide el consumo de un agente oxidante específico, el cual se expresa posteriormente como su equivalente en oxígeno (Barrera, 2016). Se utiliza como indicador de la carga contaminante de los efluentes y se expresa en mg/L de oxígeno; en el caso del lactosuero, los altos valores de DQO se deben a la presencia de lactosa, proteínas y grasas, lo que convierte a este subproducto en un potencial contaminante si es descargado sin tratamiento previo (Machaca, 2021).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5)

Para Raffo y Ruiz (2014) "la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es uno de los indicadores más importantes en la medición de la contaminación en aguas residuales, como también en el control del agua potable". La demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) constituye uno de los principales parámetros utilizados para evaluar la contaminación orgánica presente en aguas residuales industriales, debido a que permite determinar la cantidad de oxígeno requerida para la degradación biológica de la materia orgánica (Isea et al., 2008).

De acuerdo con el estudio consultado según Rodríguez (1998), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es un parámetro aplicado al análisis de aguas residuales urbanas e industriales, señalan que la presencia de compuestos xenobióticos en algunos efluentes industriales puede afectar la actividad de los microorganismos responsables de la biodegradación, generando un período de aclimatación que modifica el comportamiento cinético de la DBO y dificulta su cálculo mediante los métodos tradicionales.

Relación DBO_5/DQO

Según el estudio revisado, la relación entre la DBO_5 y la DQO es un indicador importante de la biodegradabilidad de las aguas residuales; cuando la relación DBO_5/DQO es mayor a 0.5, el efluente presenta una alta biodegradabilidad y puede tratarse eficazmente mediante procesos biológicos; por el contrario, cuando la relación DBO_5/DQO es menor a 0.3, la biodegradabilidad es baja, por lo que se requieren tratamientos físico-químicos (Cepeda y Ambiental, 2018).

SOLIDOS SUSPENDIDOS

Para Bajpai (2018), los sólidos suspendidos totales (SST) son todos los materiales presentes en el agua que no son solubles. Contribuyen a la turbidez (opacidad o enturbiamiento) del agua según su cantidad y distribución de tamaño. Los sólidos suspendidos totales (SST) son un parámetro de calidad del agua cuya concentración puede determinarse mediante el método convencional establecido en la norma 2540 D de Standard Methods Organization; debido a que este método requiere aproximadamente dos horas para su desarrollo, se han propuesto alternativas que permiten estimar los SST de forma más rápida mediante su correlación con otros parámetros físico-químicos, como la turbiedad (Bolívar et al., 2021).

GRASAS Y ACEITES

Las grasas y aceites en aguas residuales son compuestos orgánicos (lípidos, hidrocarburos) de origen animal, vegetal o mineral, insolubles y biodegradables, que provocan obstrucciones en alcantarillas y problemas severos en el tratamiento biológico de efluentes industriales y domésticos (Secretaría de Economía, 2013).

La presencia de aceites y grasas en las aguas residuales representa un problema ambiental de alcance global, debido a que estos contaminantes pueden modificar las características del agua y afectar su funcionamiento dentro del ciclo natural. Los aceites y las grasas se encuentran entre los principales contaminantes de las aguas residuales, por lo que es

necesario implementar medidas adecuadas para su control y tratamiento, con el fin de reducir sus efectos negativos sobre el medio ambiente (Instituto del Agua, s.f.).

pH

Según Gaibor (2014), el pH "es la concentración del ion Hidrogeno, es importante en las aguas residuales, puesto que concentraciones del ion hidrogeno inadecuadas presentan dificultades en el proceso biológico del tratamiento de las aguas, afectando la vida bio-acuática".

El pH es un indicador de la acidez o alcalinidad del agua y constituye un parámetro clave en el tratamiento de aguas residuales. Valores de pH entre 6.5 y 8.5 favorecen el funcionamiento de los procesos biológicos, mientras que valores superiores a 10 pueden afectar la actividad microbiana y disminuir la eficiencia del tratamiento, por esa razón el control del pH es necesario para asegurar el cumplimiento de la normativa y reducir los impactos ambientales de los efluentes (Cortes et al., 2018).

IMPACTOS AMBIENTALES

Gómez y Sánchez (2019) indican que "el procesamiento del lactosuero genera residuos como, por ejemplo, la lactosa, la cual representa un serio problema ambiental y económico por la posible contaminación de fuentes hídricas y el alto costo que tiene su tratamiento (mano de obra e insumos)".

En el caso de la lechería, su principal aspecto ambiental es la generación de aguas residuales, originadas principalmente por el lavado de equipos y pisos, así como por efluentes de características especiales como el suero de leche; además, esta actividad incide en la totalidad de los impactos ambientales identificados el componente ambiental más afectado es el aire, sobre el cual recaen tres aspectos relevantes: emisiones de fuentes fijas, emisión de olores y uso de combustibles, los cuales en conjunto generan un impacto ambiental conocido como contaminación atmosférica (Arce-Villalobos et al., 2021).

ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO

El tratamiento de aguas residuales constituye un proceso esencial para disminuir y eliminar la carga contaminante presente en el agua, especialmente aquella generada por actividades industriales, su implementación es fundamental para la gestión sostenible del recurso hídrico, ya que no solo contribuye a reducir el consumo mediante su reutilización, sino que también favorece la protección de los ecosistemas al limitar la descarga de sustancias nocivas; asimismo, las aguas residuales pueden ser aprovechadas como fuente de nutrientes, materiales recuperables e incluso energía, lo que refuerza su valor dentro de un enfoque de sostenibilidad (Secretaría del Medio Ambiente, s.f.).

La industria láctea genera grandes volúmenes de aguas residuales, por lo que su tratamiento se ha convertido en un tema de creciente interés; diversas investigaciones han abordado el origen, las características y los principales indicadores de contaminación de estos efluentes, así como las tecnologías empleadas para su tratamiento; entre estas, destacan los procesos biológicos aerobios y anaerobios, los cuales han demostrado ser alternativas eficientes para reducir la carga contaminante y mejorar la gestión ambiental de las aguas residuales lácteas (Kolev, 2017).

Pinzón-Franco et al. (2022) plantea el aprovechamiento sustentable del suero generado en la elaboración de queso, considerando su impacto ambiental; para ello, se realizaron análisis de pH y DBO5 con el fin de evaluar sus características y determinar alternativas de reutilización; como resultado, se propuso el aprovechamiento del suero mediante la elaboración de otros productos y la implementación de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), contribuyendo así a la reducción de la contaminación ambiental y al manejo responsable de este subproducto lácteo.

MARCO NORMATIVO (BOLIVIA)

El marco normativo de aguas residuales en Bolivia se fundamenta principalmente en la Ley N° 1333 del Medio Ambiente y su Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica (RMCH), los cuales establecen los límites permisibles para descargas, la obligatoriedad de tratamiento y las autorizaciones para la gestión de aguas crudas o tratadas; este régimen

se complementa con la Norma Boliviana NB 688 para el diseño de sistemas de alcantarillado sanitario y pluvial, la NB 512 para calidad de agua, y las normativas municipales que regulan el vertido final en áreas urbanas, garantizando la protección de los cuerpos receptores (Cámara Nacional de Industrias, 1992).

La contaminación ambiental constituye una problemática de alcance mundial que ha despertado un creciente interés debido a sus efectos sobre la salud humana y el medio ambiente. Entre las principales causas de la contaminación hídrica se encuentra la descarga de aguas residuales sin tratamiento o con un tratamiento insuficiente, situación que ha impulsado la implementación de normativas y regulaciones más estrictas para el control de los vertimientos (Salas y Sarcco, 2017).

APROVECHAMIENTO DE LACTOSUERO

El lactosuero constituye un coproducto de gran importancia y valor, debido a sus propiedades nutricionales y a su potencial de aprovechamiento en la elaboración de diversos productos alimenticios, contribuyendo a mejorar sus características nutricionales y comerciales (Muñoz y Vallejo, 2023). “La Unión Europea considera como una de sus principales prioridades en el sector del agua la reutilización, al tratarse de un recurso con un menor impacto ambiental que otras alternativas como la desalinización o los trasvases” (Torres, 2018).

ANÁLISIS DE LA BIBLIOGRAFÍA

La revisión bibliográfica realizada permitió identificar que las aguas residuales generadas durante la elaboración de queso fresco prensado presentan una elevada carga contaminante, atribuida principalmente a la presencia de lactosuero, grasas, proteínas y sólidos suspendidos. Diversos estudios reportan concentraciones elevadas de demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y demanda química de oxígeno (DQO), lo que evidencia una importante cantidad de materia orgánica en estos efluentes.

Asimismo, se encontró que los principales parámetros utilizados para evaluar la contaminación de las aguas residuales lácteas son la DBO_5 , DQO, sólidos suspendidos totales, grasas y aceites, y pH. Estos indicadores permiten determinar el grado de contaminación y seleccionar las tecnologías de tratamiento más adecuadas.

Respecto a las alternativas de tratamiento, los estudios revisados muestran que los procesos biológicos aerobios y anaerobios son ampliamente utilizados debido a su capacidad para reducir la carga orgánica presente en los efluentes. De igual manera, tecnologías fisicoquímicas como la coagulación, floculación y electrocoagulación han demostrado resultados favorables en la remoción de contaminantes.

CONCLUSIONES

Las aguas residuales generadas durante la elaboración de queso fresco prensado se caracterizan por sus elevadas concentraciones de materia orgánica, reflejadas en altos valores de demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y demanda química de oxígeno (DQO). En este proceso, el lactosuero se constituye como el principal subproducto responsable de la severa carga contaminante presente en dichos efluentes, lo que exige una gestión técnica adecuada antes de su disposición final.

Para hacer frente a esta problemática, los tratamientos biológicos, tanto aerobios como anaerobios, representan alternativas altamente eficientes para la reducción de la contaminación orgánica. La implementación de estas tecnologías resulta fundamental para asegurar el estricto cumplimiento de la Ley 1333 de Medio Ambiente y del Reglamento en Materia de Contaminación Hídrica, garantizando así la minimización de los impactos ambientales negativos en las fuentes receptoras.

BIBLIOGRAFÍA

Arango, O., & Sanches E, S. L. (2009). Tratamiento de aguas residuales de la industria láctea mediante el sistema anaeróbico UASB. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 7(2), 1-8. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1692-35612009000200004&script=sci_arttext

- Arce-Villalobos, K., Arias-Castro, A., González-Jiménez, Y., Hernández-Ugalde, K., & Mora-Barrantes, J. C. (2021). Evaluación del impacto ambiental de una planta de lácteos en Costa Rica. *Revista Tecnología en Marcha*, 34(3), 83-95. <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v34i3.4919>
- Bazantes, E. F., & Quispe, J. E. (2019). Propuesta de un sistema de control de residuos contaminantes en el proceso de elaboración de quesos en la empresa el Paraíso ubicado en el cantón Salcedo. Carrera de Ingeniería Industrial, Latacunga, Ecuador. <https://repositorio.utc.edu.ec/server/api/core/bitstreams/ac16fceb-bf2f-43ca-a0d2-79645474b7ff/content>
- Bajpai, P. (2018). Manual de Biermann sobre pulpa y papel. (F. d. cartón, Ed.) Tercera edición. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780128142387000155>
- Barrera, E. R. (2016). DQO Y DBO. Hanna Instruments. https://cdn.hannacolombia.com/hannacdn/marketing/capacitacion/2016/05/Hanna_Instruments._DQO_y_DBO.pdf
- Bolívar, S. M., Castaño, D. L., & Gutiérrez, O. (2021). Modelo correlacional de sólidos suspendidos totales presentes en aguas residuales domésticas mediante análisis de turbiedad. (Lasallista, Ed.) *Producción + Limpia*, 16(1), 186-197. <https://doi.org/10.22507/pml.v16n1a10>
- Cámara Nacional de Industrias. (1992). Ley del Medio Ambiente No. 1333. Gaceta Oficial de Bolivia. https://www.oas.org/dsd/fida/laws/legislation/bolivia/bolivia_1333.pdf
- Cepeda, S. A., & Ambiental, I. (2018). Caracterización de aguas residuales hospitalarias Characterization of hospital wastewaters. *Dinamica Ambiental*, 2(2). <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/ambiental/article/download/5793/5381/12428>
- Cortes, F., Sánchez, I., Betancourt, J., & Ávila, C. M. (2018). Cálculo de pago de derechos para descarga de agua residual con variaciones de pH. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(2). <https://doi.org/10.29312/remexca.v4i2.1249>
- Equimar. (2025). Aguas residuales generadas en la industria de los lácteos. <https://www.equimar.mx/blog/aguas-residuales-generadas-en-la-industria-de-los-lacteos/>
- Fuentes, E., & Pons, J. (2022). Divulga UAB. Revista de difusion de la investigacion Universitat Autonoma de Barcelona: <https://www.uab.cat/web/detalle-noticia/la-contaminacion-en-la-industria-lactea-1345680342040.html?cid=1345680342040&d=Touch¬iciaid=1345874333369&pagename=UABDivulga%2FPage%2FTemplateDetailNoticiesUABDivulga2014>
- Gaibor, J. A. (2014). Caracterización del agua residual generada en la planta de lácteos El Salinerito – Parroquia Salinas – Cantón Guaranda para el diseño de una planta de tratamiento. *Revista de Investigación Talentos*, 1(N° 1), 107-112. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8551331>
- Giraldo, G. I., & Díaz, M. (2013). Pre-tratamiento de aguas residuales de la industria láctea con una lipasa inmovilizada. *Producción + Limpia*, 8(2), 51-59. <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v8n2/v8n2a06.pdf>
- Gómez, J. A., & Sánchez, O. J. (2019). Producción de galactooligosacáridos: alternativa para el aprovechamiento del lactosuero. *Ingeniería y Desarrollo*, 37(1), 129-157. <https://doi.org/10.14482/inde.37.1.637>
- González, M. d. (2012). Aspectos medio ambientales asociados a los procesos. *Mundo Pecuario*, 3(1), 16-32. https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_bovina_de_leche/leche_subproductos/37-industria.pdf
- Guerrero, W. J., Gómez, C. A., González, C. A., & Castro, J. (s.f.). Lactosuero y su problemática en el medio ambiente. Centro de Investigaciones Químicas, 1-6. https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icbi/LI_MicroAlim/Javier_Castro/10.pdf
- Herrera, A., O. F., & Corpas, I., E. J. (2013). Reducción de la contaminación en agua residual industrial láctea utilizando microorganismos benéficos. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(1), 57-67. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n1/v11n1a07.pdf>
- Instituto del Agua. (s.f.). Aceites y grasas en aguas residuales: un problema ambiental de gran magnitud. <https://institutodelagua.es/aguas-residuales/aceites-y-grasas-en-aguas-residualesaguas-residuales/>
- Isea, D., Vargas, L., Duran, J., Pineda, K., & Delgado, J. (2008). Kinetic parameters determination that rule. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 31. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702008000400004&lng=en&nrm=iso&tlng=es
- Kolev, A. (2017). General characteristics and treatment possibilities of dairy wastewater – a review. *Food Technol Biotechnol*, 55(1), 14–28. <https://doi.org/10.17113/ftb.55.01.17.4520>
- Lizárraga-Chaidez, M., Mendoza-Sánchez, M., Abadía-García, L., & García-Pérez, J. (2023). El inocente impacto ambiental del suero de la leche. *Epistemos (Sonora)*, 17(35), 88-97. <https://www.scielo.org.mx/pdf/epistemos/v17n35/2007-8196-epistemos-17-35-88.pdf>
- Lopez, P. (2016). Electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea. *Enfoque UTE*, 7(1), 13-21. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n1.84>
- Machaca, R. M. (2021). Reducción de DQO y DBO de lactosuero ácido de queso tipo paria, mediante el método de electrocoagulación. Puno: Universidad Nacional del Altiplano. Repositorio Institucional - UNAP. <https://repositorio.unap.edu.pe/items/3131714e-1381-4500-9d86-3c5fde8e9934>
- Muñoz, J. F., & Vallejo, V. E. (2023). Aprovechamiento de lactosuero para la elaboración de una bebida láctea fermentada con uchuva. *Investigación e Innovación en Ingenierías*, 11(1). <https://doi.org/10.17081/invinno.11.1.6214>
- Osorio-Rivera, M. A., Carrillo-Barahona, W. E., Negrete-Costales, J. H., Loor-Lalvay, X. A., & Riera-Guachichulca, E. J. (2021). La calidad de las aguas residuales domésticas. *Polo del Conocimiento*, 6(3), 228-245. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i3.2360>

- Pinzón-Franco, D., Cuellar-Martínez, D. L., & Aguirre-Cardona, D. A. (2022). Análisis de excedentes de producción y comercialización en la empresa Experiencia San Sebastián. *Revista Universidad Católica de Oriente*, 33(49), 148-179. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10417424>
- Raffo Lecca, E., & Ruiz Lizama, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial*, 17(1), 71-80. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8635432>
- Rhenals, R. (2025). Hanna Instruments. Determinación de variables fisicoquímicas en aguas residuales para la industria de lácteos: https://hannacolombia.com/determinacion-de-variables-fisicoquimicas-en-aguas-residuales-para-la-industria-de-lacteos/?srsltid=AfmBOooFyi6YJtPSjl5SWrq_tOfXyimAen9rYwR2LjRetrB2lQsvrzi
- Rodríguez, M. G. (1998). Demanda bioquímica de oxígeno de efluentes con productos xenobióticos. *Universitat Politècnica de València*, 5(4), 47-54. <https://doi.org/10.4995/ia.1998.2771>
- Saenz Roldan, L. F. (2013). Diseño del sistema de tratamiento y reutilización del agua residual en la planta de lácteos oasis. ESCUELA Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba Ecuador. <https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/447f6dcb-c04d-4039-9c72-cf1d0472959a/content>
- Salas, P., & Sarcco, L. (2017). Eliminación de plomo (II) y hierro (II), por bioadsorción con cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) en residuos líquidos procedentes del Laboratorio químico de Southern Perú. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa: Arequipa, Perú.
- Secretaría de Economía. (2013). Análisis de agua – medición de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas – método de prueba (Cancela a la NMX-AA-005-SCFI-2000). <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/166764/nmx-aa-005-scfi-2013.pdf>
- Secretaría del Medio Ambiente. (s.f.). Glosario. Gobierno de la ciudad de México: <https://proyectos.sedema.cdmx.gob.mx/datos/glosario-definicion/Agua%20residual#:~:text=Son%20las%20provenientes%20de%20actividades,que%20alteran%20su%20calidad%20original>
- Torres, M. A. (2018). Contaminación y tratamiento de agua. *QDL* 46, V, 188-210. https://repositorio.gobiernolocal.es/xmlui/bitstream/handle/10873/1855/10_TORRES_P187_P210_QDL_46.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Tuset, S. (s.f.). Condorchem. Enviro Solutions. <https://condorchem.com/es/blog/tratamiento-de-aguas-residuales-de-la-industria-lactea/>
- Williams, M. B., & Dueñas, A. A. (2021). Alternativas para el aprovechamiento del lactosuero: Antecedentes investigativos y usos tradicionales. *La Técnica: Revista de las Agrociencias*, 39-49. <https://share.google/pNqYzLOtde4MlcSS8>