

GUÍA DEL SECTOR

**PROCESAMIENTO DE
PRODUCTOS LÁCTEOS**

**CORRECTA GESTIÓN DE LAS
AGUAS RESIDUALES EN EL
SECTOR AGROINDUSTRIAL
PARA BID INVEST**

Título y referencia	Guía del sector – Acuicultura	Versión final
Ciente	João Paulo Diniz Abud..... Natazha Valarezo..... Paula Valencia.....	jdinizabud@iadb.org natazhav@iadb.org paulava@iadb.org
Preparado por	Mauricio Morera, Wastewater Expert..... Mónica Salas, Wastewater Expert.....	ma.morera@gmail.com msalas@auroraingenieria.com
Aprobado por	Natalia Benavides, Senior Consultant, Futuris..... Emma Tristán, General Director, Futuris.....	natalia@futurisconsulting.com emma@futurisconsulting.com
Contacto Futuris	Futuris Consulting S.A..... Tres Ríos, Cartago, Costa Rica.....	@ http://www.futurisconsulting.com +506 2279-3501

Copyright © [2024] Corporación Interamericana de Inversiones (BID Invest). Esta obra se encuentra sujeta a una licencia Creative Commons CC BY 3.0 IGO. Se deberá cumplir los términos y condiciones señalados en el enlace URL y otorgar el respectivo reconocimiento a BID Invest.

En alcance a la sección 8 de la licencia indicada, cualquier mediación relacionada con disputas que surjan bajo esta licencia será llevada a cabo de conformidad con el Reglamento de Mediación de la OMPI, vigente en el momento de la disputa. Cualquier disputa relacionada con el uso de las obras de BID Invest que no pueda resolverse amistosamente se someterá a arbitraje de conformidad con las reglas de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil (CNUDMI), vigentes en el momento de la disputa. El uso del nombre de BID Invest para cualquier fin distinto al reconocimiento respectivo y el uso del logotipo del BID no están autorizados por esta licencia y requieren de un acuerdo de licencia adicional.

Nótese que el enlace URL incluye términos y condiciones que forman parte integral de esta licencia.

ACLARACIÓN

Este informe ha sido elaborado por Futuris Consulting S.A. con toda la pericia, cuidado y diligencia razonables de acuerdo con los términos del Contrato con el cliente, incorporando nuestras Estipulaciones y Condiciones Generales de Trabajo y teniendo en cuenta los recursos según lo acordado con el cliente. Declinamos toda responsabilidad ante el cliente o terceros con respecto a cualquier asunto que quede fuera del ámbito del encargo, tal y como se define en el Contrato con el cliente. Este informe es confidencial para el cliente y para los terceros específicamente indicados por acuerdo escrito entre Futuris Consulting S.A. y el cliente.

No aceptamos ninguna responsabilidad, de la naturaleza que sea, frente a terceros a los que se dé a conocer este informe, o partes del mismo. Queda a la entera discreción de dichos terceros atenerse o no al informe y confiar en él.

Índice de Contenidos

1 **Introducción**

1.1 Guía del sector y Nota de Buenas Prácticas (NBP).....5

1.2 Fuentes de información.....5

2 **Características del Sector y Producción de Aguas Residuales**

2.1 Panorama general del sector.....6

2.2 Uso del agua en el proceso industrial.....6

2.3 Revisión general de la generación de aguas residuales.....8

2.4 Descripción de la calidad del agua residual8

3 **Mejores Prácticas de Gestión de Aguas Residuales (MPGAR)**

3.1 MPGAR para la prevención de la contaminación9

3.2 Tratamiento de aguas residuales10

3.3 Ejemplo de tratamiento de aguas residuales11

3.4 Indicadores clave de desempeño y monitoreo.....12

4 **Referencias**

Siglas

BID	Banco Interamericano de Desarrollo
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
EC	Electrocoagulación
FAD	Flotación por aire disuelto
CyA	Grasas y aceites
GBM	Grupo del Banco Mundial
ISO	Organización Internacional de Normalización, por sus siglas en inglés
LAC	Latinoamérica y el Caribe
MPGAR	Mejores prácticas de gestión de aguas residuales
NBP	Nota de buenas prácticas
NMP	Número más probable
OD	Oxígeno disuelto
OMS	Organización Mundial de la Salud
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales
RAFA	Reactor anaeróbico de flujo ascendente con manto de lodos

7 Introducción



1.1 GUÍA DEL SECTOR Y NOTA DE BUENAS PRÁCTICAS (NBP)

Esta guía del sector se ha elaborado como complemento de la Nota de Buenas Prácticas (NBP) para la gestión de aguas residuales en el sector agroindustrial¹. En las siguientes secciones se ha hecho referencia a la NBP para reducir la duplicación, siempre que la información de la NBP complemente lo que se presenta en esta guía del sector.

El presente documento proporciona una visión general integral de las mejores prácticas de gestión de aguas residuales (MPGAR) para gestionar los impactos ambientales de las aguas residuales del procesamiento de productos lácteos, ayudando a las empresas de América Latina y el Caribe (LAC) a minimizar el impacto ambiental, garantizar el cumplimiento de las regulaciones pertinentes, promover prácticas sostenibles que protejan la salud pública y reducir los costos operativos. En la Sección 2 se describen las características del sector y en la Sección 3 las MPGAR, incluidas las MPGAR de prevención de la contaminación (Sección 3.1) y las MPGAR de tratamiento de aguas residuales (Sección 3.2).

La información relativa a los indicadores clave de desempeño (KPI, por sus siglas en inglés) está vinculada a los marcos regulatorios específicos de cada país, y esta información se puede encontrar en la Sección 2 y el Anexo I de la NBP. Para una exploración más detallada de los ejemplos de prevención de la contaminación y

MPGAR en el tratamiento de aguas residuales, consulte la Sección 4 y la Sección 5 de la NBP, respectivamente. En la Sección 6 de la NBP se puede encontrar información más detallada sobre el monitoreo.

1.2 FUENTES DE INFORMACIÓN

Esta guía del sector sobre las aguas residuales del procesamiento de lácteos se ha desarrollado utilizando varias fuentes de información. Principalmente, se basa en el Manual de Prevención y Reducción de la Contaminación del Banco Mundial (1998), que constituye el marco subyacente de las directrices más especializadas de la industria, conocidas como Directrices sobre el Medio Ambiente, la Salud y la Seguridad para el Procesamiento de Productos Lácteos, publicadas por el Grupo del Banco Mundial en 2007. Una recopilación completa de referencias está disponible en la Sección 4. Además, se han incorporado los resultados de las entrevistas con los clientes de BID Invest.

2 Características del Sector y Producción de Aguas Residuales



2.1 PANORAMA GENERAL DEL SECTOR

Los establecimientos lácteos procesan la leche cruda en leche de consumo, mantequilla, queso, yogurt, leche condensada, leche en polvo y helado mediante refrigeración, pasteurización y homogeneización. Entre los subproductos típicos se encuentran el suero de leche, el suero de mantequilla y sus derivados. Los efluentes se generan en este procesamiento a través de los derrames de leche, los goteos, el suero desechado y el agua de lavado utilizada para limpiar cubas, equipo, suelos, tanques, utensilios y botellas. El procesamiento de la leche genera residuos que a menudo se vierten de forma intermitente, y su naturaleza y composición dependen de los tipos de productos elaborados y del tamaño de las plantas. Normalmente, las aguas residuales contienen diversos contaminantes, como materia orgánica e inorgánica, aceites y grasas, nutrientes y agentes patógenos.

El mercado lácteo de LAC está experimentando un crecimiento significativo, impulsado principalmente por la expansión de los canales de distribución de productos lácteos. Los nuevos mercados, como los supermercados e hipermercados de la región, apoyan esta expansión. Brasil, Argentina y Colombia se encuentran entre los países líderes de la región; estos países han demostrado su destreza en la producción de leche y siguen desempeñando un papel fundamental en el impulso de la industria. Se prevé que la producción de leche aumente en Argentina, Colombia, Chile y Uruguay², lo que indica un incremento de las exportaciones de

productos lácteos y constituye una tendencia clave que orienta el crecimiento global de la industria láctea de LAC.

2.2 USO DEL AGUA EN EL PROCESO INDUSTRIAL

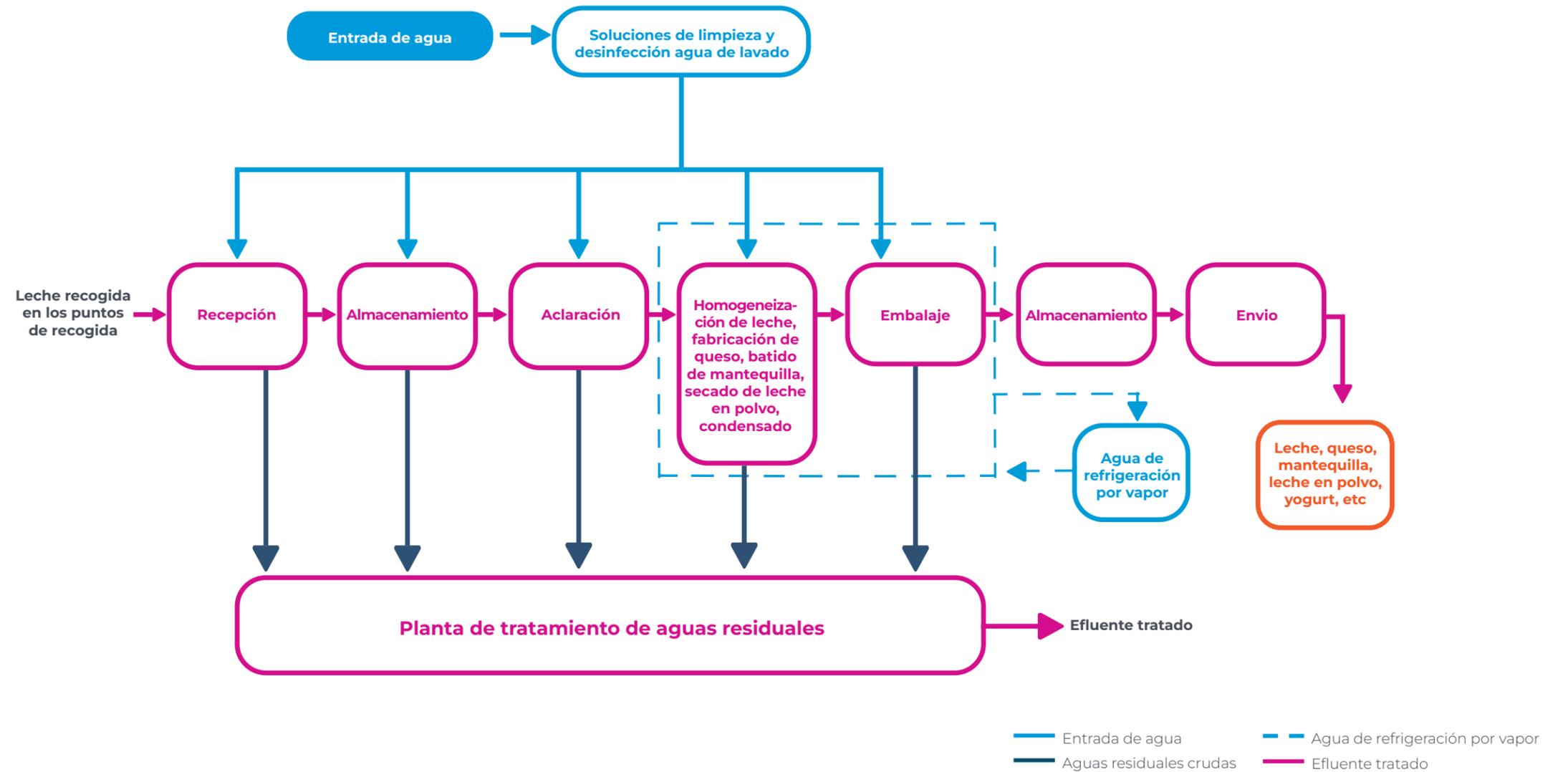
El consumo general de agua en la industria láctea se ilustra en la Figura 1. El agua se utiliza en todas las fases de las líneas de producción, incluidas la limpieza y el saneamiento, la calefacción y la refrigeración, y también está presente en múltiples productos lácteos. **La mayoría de las plantas lecheras consumen entre 1 y 10 m³ de agua por cada metro cúbico de leche procesada;** los valores dependen del país y de los derivados lácteos producidos. **Mientras que la leche en polvo es la que menos agua consume, con consumos tan bajos como 1.5-1.7 L_{agua}/L_{leche}, la producción de helados es la que más consume, con valores de 6.5-10.3 L_{agua}/kg_{producto}³.**

El agua utilizada en los productos lácteos debe cumplir al menos los requisitos de calidad del agua potable⁴, por lo que el agua debe cumplir o superar las normas nacionales de aceptabilidad aplicables o, en su defecto, la edición vigente de las Directrices de la OMS para la Calidad del Agua Potable. Dependiendo de la fuente y la calidad del agua y de los requisitos técnicos de uso, esta agua debe ajustarse aún más para adaptarse a los parámetros regulados, como la eliminación del color, el ablandamiento o la adición de cloro para minimizar el recuento

de posibles microorganismos alterantes o el uso de radiación UV para desinfectar el agua almacenada directamente antes de su uso como ingrediente⁵.

Comprender las pautas de consumo de agua en el procesado de productos lácteos es fundamental para promover prácticas sostenibles de gestión de las aguas residuales y garantizar al mismo tiempo el cumplimiento de la normativa pertinente. Como se describe con más detalle en la Sección 2.2., la eficiencia y la complejidad de los sistemas de limpieza in situ desempeñan un papel crucial al minimizar el consumo de agua en el procesado de productos lácteos.

FIGURA 1 Diagrama de flujo del consumo general de agua en la industria láctea



2.3 REVISIÓN GENERAL DE LA GENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

2.3.1 CONTAMINANTES PRINCIPALES Y SUS FUENTES

Se ha estimado que la cantidad de aguas residuales es aproximadamente 1.5 – 2.5 veces superior a la de leche procesada en unidades de volumen. No obstante, la cantidad y las características de las aguas residuales dependen en gran medida del tamaño de la instalación, la tecnología aplicada, la efectividad y la complejidad de los métodos de limpieza in situ y las mejores prácticas de gestión (MPG). Estas aguas contienen niveles elevados de demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), partículas inorgánicas y orgánicas como hidratos de carbono, proteínas y grasas y aceites (GyA), y nutrientes como Nitrógeno (N) Total, Fósforo (P) Total y Potasio (K)⁶. Las aguas residuales también pueden contener una carga microbiológica, virus patógenos y bacterias.

Los efluentes lácteos son también la base de numerosos contaminantes emergentes (CE), especialmente los compuestos estrogénicos que contienen hormonas y que acaban en el medio ambiente con los vertidos industriales⁷. En la Sección 1.4 se ofrece información más detallada sobre la calidad de las aguas residuales.

Las fuentes de estos contaminantes proceden de la leche o de los productos lácteos perdidos

en los ciclos tecnológicos, por ejemplo, la leche derramada, la leche estropeada, la leche desnatada y los trozos de cuajada; los cultivos iniciadores utilizados en la fabricación de productos lácteos, los subproductos de las operaciones de procesamiento (suero, leche y permeado de suero); los reactivos químicos aplicados en los procedimientos de limpieza in situ y las necesidades sanitarias. Entre estos contaminante, el suero de leche es el principal debido a su elevado contenido orgánico⁸. Otros contaminantes pueden proceder de aditivos añadidos durante la fabricación, tal como el proceso de salazón en la producción de queso, que puede dar lugar a elevados niveles de salinidad en las aguas residuales.

Los sólidos sedimentables de las aguas residuales lácteas pueden obstruir las tuberías del alcantarillado, por lo que es vital evitar que se viertan por el desagüe. Estos sólidos suelen ser de origen proteico, es decir, partículas de procesado sólido de la leche (como trozos de queso, leche coagulada, queso, finos de cuajada, nata superficial de la leche o agentes saborizantes) y otras impurezas (tierra, arena) que se introducen en el sistema de alcantarillado durante el lavado de los equipos o el envasado⁸.

2.3.2 PRINCIPALES IMPACTOS AMBIENTALES

Un efluente no tratado procedente de la transformación de productos lácteos tiene un fuerte impacto en el ambiente. Un vertido directo a los cuerpos de agua implica grandes volúmenes de aguas residuales con una elevada carga orgánica y de nutrientes y variaciones extremas del pH. El efluente no tratado provocaría problemas de contaminación, incluyendo el rápido agotamiento del oxígeno disuelto (OD), que da lugar a condiciones anaeróbicas

y a la liberación de sustancias tóxicas volátiles como el ácido acético (C₂H₄O₂) y el ácido propanoico (C₃H₆O₂), así como gases como el metano (CH₄) y el sulfuro de hidrógeno (H₂S)⁸.

Los vertidos de materia orgánica provocan la proliferación de algas y bacterias que pueden consumir el oxígeno de los cuerpos de agua y provocar la desaparición gradual de los peces. Las bacterias y otros patógenos presentes en las aguas residuales lácteas pueden propagar enfermedades nocivas. Los residuos lácteos contienen cantidades significativas de sustancias orgánicas solubles y sólidos en suspensión que pueden liberar gases, propagar olores e impartir turbidez y color a los efluentes vertidos⁷.

separadas para cada producto lácteo, la composición de las aguas residuales crudas de los establecimientos lácteos puede variar significativamente, dando lugar a componentes complejos y diversos. Numerosos factores influyen en la concentración y composición de contaminantes las aguas residuales, concretamente, el tipo de producto, el programa de producción, los procedimientos operativos, el diseño de la planta de procesamiento y el nivel de gestión del agua que se emplea y, en consecuencia, la cantidad de agua que se conserva. En la Tabla 1 se indican los rangos típicos de los parámetros de calidad de las aguas residuales de la industria láctea.

2.4 DESCRIPCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL

Debido a la necesidad de líneas de procesado

TABLA 1 Parámetros de calidad de las aguas residuales crudas de la industria láctea⁹.

Parámetros	Queserías	Fábricas de procesamiento de leche/ leche en polvo	Fábricas de procesamiento de suero
DQO (mg/L)	5,000-60,000	2,000-6,000	68,800
DBO (mg/L)	2,300-30,000	1,200-4,000	35,000
SST (mg/L)	2,000-12,000	350-1,000	1,300
N total (mg/L)	100-170	100-170	1,400
P total (mg/L)	40-100	50-60	370-640
pH	3.5-5.5	8-11	4.6
GyA (mg/L)	0.5-2.3	3-5	0.8

3

Mejores Prácticas de Gestión de Aguas Residuales (MPGAR)



3.1 MPGAR PARA LA PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

Es esencial aumentar el empleo de tecnologías como la recirculación del agua y las técnicas de gestión preventiva ante la contaminación para lograr la sostenibilidad. Para alcanzar este objetivo, es importante mantenerse actualizados sobre los avances tecnológicos y la investigación científica. Para gestionar efectivamente las aguas residuales, la industria de procesamiento lácteo debe implementar MPGAR de prevención de la contaminación, para evitar que los contaminantes entren en una planta de tratamiento; en la Sección 4 de la NBP se describe más información sobre la prevención de la contaminación. Los ejemplos de la Tabla 2 deberían fomentar la prevención de la contaminación desde el origen en una instalación de procesamiento de productos lácteos.

TABLA 2 Técnicas de gestión para la prevención de la contaminación de las aguas residuales en la industria de procesamiento lácteo

Técnicas de gestión para la prevención de la contaminación	Descripción de controles
La reutilización del agua no interactúa directamente con los productos derivados, incluidos el agua caliente, la producción de vapor, las actividades de limpieza y la limpieza de membranas ⁹ .	<ul style="list-style-type: none"> Controlar, al menos trimestralmente, parámetros de calidad del agua como el pH, la conductividad, el total de sólidos disueltos y el recuento microbiano para garantizar que el agua es segura para su reutilización. Asegurar que siempre cumple la normativa nacional sobre reutilización. Cuando los sólidos en suspensión puedan causar incrustaciones y corrosión de los equipos, utilizar filtración, sedimentación o tratamiento químico antes de reutilizar el agua caliente o para la producción de vapor. Incorporar la reutilización del agua a los controles generales del proceso de procesado de productos lácteos. Almacenar y distribuir el agua reutilizada separada de otras fuentes de agua.
Evitar las fugas de leche en las tuberías y los vertidos de productos (Banco Mundial, 1999).	<ul style="list-style-type: none"> Realizar mantenimiento semestral, como mínimo, de los accesorios, válvulas y juntas. Equipar las llenadoras con dispositivos antigoteo y antiderrame. Utilizar juntas adecuadas en bombas y conexiones de tuberías.
Evitar que se viertan por el desagüe materiales sólidos (como partículas de leche sólida y otras impurezas descritas en la Sección 4.3. de la NBP) ¹⁰ .	<ul style="list-style-type: none"> Proporcionar contenedores u otros recipientes para la eliminación de residuos sólidos y asegurarse de que los colaboradores entienden qué materiales deben recogerse y tratarse como residuos sólidos. Instalar equipos como rejillas, filtros y sifones en la planta de procesamiento. Realizar la limpieza y el mantenimiento diarios de estos equipos para evitar que los materiales sólidos entren en el sistema de drenaje. Inspeccionar la PTAR diariamente para asegurar que no entren residuos sólidos.
Reducir los niveles de contaminación en el afluente del tratamiento de aguas residuales ⁹ .	<ul style="list-style-type: none"> Dejar tiempo suficiente para drenar tuberías, depósitos y cisternas de transporte antes de enjuagar con agua. Utilizar productos químicos o detergentes autorizados con sustancias menos peligrosas para la limpieza y el lavado. Limpiar periódicamente con sustancias químicas o bacterianas adecuadas la formación de depósitos de proteínas y grasas en el interior de las tuberías; el uso de bacterias tiene la ventaja de que siguen actuando en las siguientes fases del tratamiento de aguas residuales.

3.2 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En la industria láctea, el tratamiento del agua suele incluir un tratamiento preliminar, un tratamiento primario o físico-químico, un tratamiento secundario y métodos de gestión de los lodos. Además, existen tecnologías emergentes para el tratamiento de las aguas residuales lácteas, como los procesos electroquímicos de oxidación avanzada y las tecnologías de membrana. En la Tabla 3 se enumeran algunos ejemplos de tecnologías.

TRATAMIENTO PRELIMINAR

Consiste en eliminar sólidos gruesos, aceites y grasas de las aguas residuales e igualar los cambios de caudal volumétrico y de masa. Ayuda a reducir parte de la concentración de sólidos en suspensión. Entre las tecnologías comunes de pretratamiento se incluyen clarificadores, tamices, tanques de sedimentación y flotación por aire disuelto. Además, las trampas de grasa, los *skimmers* o los separadores de agua y aceite pueden separar sólidos flotantes.

TRATAMIENTO PRIMARIO O FÍSICO-QUÍMICO

Los tratamientos primarios eliminan los sólidos en suspensión, los nutrientes y los agentes patógenos que el tratamiento biológico no puede eliminar de forma efectiva. Las tecnologías de tratamiento físico y químico más comunes son la coagulación, la floculación, la sedimentación y la desinfección. Estos tratamientos eliminan efectivamente los compuestos emulsionados reduciendo los coloides de grasa y proteína de la leche; sin embargo, la adición de reactivos aumenta los costes de tratamiento del agua. La flotación por aire disuelto (FAD) es un método de tratamiento eficaz porque reduce la carga orgánica mediante la desestabilización de los coloides de proteína y grasa con coagulantes y floculantes. No obstante, este método implica el uso de productos químicos costosos y sintéticos que pueden resultar en problemas ambientales, como la liberación de productos químicos nocivos en el ambiente, la contaminación de los cuerpos de agua y posibles daños a la vida acuática⁸.

TRATAMIENTO SECUNDARIO

Debido a su fiabilidad y capacidad para degradar eficazmente contaminantes altamente biodegradables, se prefieren los reactores anaerobios y aerobios. Este tratamiento consiste en utilizar microorganismos para eliminar la materia orgánica, los nutrientes y los agentes patógenos de las aguas residuales. Las tecnologías de tratamiento biológico más comunes son los lodos activados, los filtros percoladores y las lagunas.

Es esencial tener en cuenta que los ácidos grasos de la grasa de leche en las aguas residuales pueden provocar una acción inhibitoria durante el tratamiento anaerobio debido principalmente a la disminución del pH. Los procesos aerobios consumen mucha energía y deben combinarse con procesos anaerobios para cumplir las normas de vertido. El reactor anaerobio de flujo ascendente con manto de lodos (RAFA) es una configuración típica y adecuada debido a su capacidad para tratar grandes volúmenes con relativa rapidez. Además, los filtros anaeróbicos suelen aplicarse en la etapa anaeróbica¹¹. Los reactores discontinuos secuenciados y los reactores de lecho biológico móvil son habituales en el tratamiento aerobio debido a sus diversas capacidades de carga y a la flexibilidad del efluente⁸. Una fase del proceso de digestión anaerobia consiste en la degradación de la materia orgánica por microorganismos sin oxígeno. Da lugar a biogás, una mezcla de dióxido de carbono (CO₂) y metano (CH₄), y a la formación de biomasa, una fuente de energía valiosa y renovable que se utiliza para la calefacción y la producción de energía eléctrica.

GESTIÓN DE LODOS

Durante el tratamiento primario y secundario se producen grandes cantidades de lodos del procesado de productos lácteos que pueden absorber contaminantes. Varios compuestos potencialmente nocivos, como los antibióticos, los metales pesados, los pesticidas o los microplásticos, pueden entrar en la cadena de transformación de la leche por diversas vías y acumularse en los lodos. Los lodos deben evaluarse caso por caso para determinar si constituyen residuos peligrosos que deben eliminarse de acuerdo con los requisitos normativos locales o residuos no peligrosos que pueden utilizarse como fertilizante en aplicaciones en la tierra¹². Entre las tecnologías habituales de gestión de lodos se encuentran la deshidratación y la digestión anaerobia, que también puede producir biogás.

TABLA 3 Tecnologías de tratamiento comunes para las aguas residuales de la industria láctea

Industria	Tratamiento preliminar	Tratamiento primario	Tratamiento secundario	Tratamiento terciario	Tratamiento de lodos	Tecnologías emergentes
Procesado de productos lácteos.	Ecualización del caudal, rejillas, filtros mecánicos, trampas de grasa, desnatador o separadores de agua y aceite.	Coagulación y floculación, FAD y regulación del pH (de ser necesario).	Los tratamientos biológicos aeróbicos/ anaeróbicos incluyen estanques con revestimientos aeróbicos/ anaeróbicos, reactores aeróbicos, filtros anaeróbicos, RAFA y biofiltros.	Cloro, ozono, UV (si hay patógenos presentes).	Los lodos producidos en el tratamiento primario y secundario deben deshidratarse antes de su eliminación mediante lechos de secado de lodos, centrifugadoras o decantadores. Se recomienda secar aún más los lodos para producir biosólidos que puedan reutilizarse.	<p>Tecnologías electroquímicas microbianas (MET)⁷.</p> <p>Electrocoagulación (EC) y proceso electroquímico de oxidación avanzada¹³.</p> <p>Las tecnologías de membrana incluyen microfiltración, nanofiltración, ultrafiltración, ósmosis inversa y electrodiálisis⁷.</p>

3.3 EJEMPLO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Hung & Britz (2006) presentan un ejemplo de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) existente en una industria quesera mexicana, que se describe a continuación.

La PTAR funcionaba por encima de los umbrales de vertido, lo que planteaba la necesidad de

una mejora. La fábrica buscaba un sistema de tratamiento que fuera más eficaz, que utilizara instalaciones preexistentes para reducir los costos de inversión iniciales y tuviera bajos costos de explotación. La fábrica producía un caudal medio de aguas residuales de 500 m³/día, con una composición media (mg/l) de 4,430 de DQO, 3,000 de DBO, 1,110 de SST y 754 de GyA. El proceso final tras la actualización se describe en la Figura 2. El proceso modificado de tratamiento de aguas residuales dio como resultado una eficacia global de eliminación del 98% de DBO, 96% de DQO, 98% de SST y 99,8% de GyA.

FIGURA 2 Diagrama de flujo del proceso final de una quesería mexicana⁹



Fluente: Elaboración propia, basado en Hung & Britz (2006)

3.4 INDICADORES CLAVE DE DESEMPEÑO Y MONITOREO

Cada país dispone de normas específicas para la gestión y reutilización de las aguas residuales, con reglamentos que establecen umbrales de calidad del agua admisibles para distintas situaciones, como el vertido en masas de agua, zonas costeras y sistemas de alcantarillado sanitario, así como la reutilización de las aguas residuales depuradas. La NBP en la Sección 2.2. incluye una comparación de los parámetros de calidad establecidos en distintos países. La Tabla A-1 del Anexo I de la NBP ofrece una visión global del marco legislativo para la gestión de las aguas residuales en la región de LAC.

Las Directrices sobre Ambiente, Salud y Seguridad para el Procesado de Productos Lácteos del Grupo del Banco Mundial (GBM) establecen los límites máximos admisibles de vertido en masas de agua para los parámetros enumerados a continuación en la Tabla 4¹⁴. Estos límites deben ser alcanzables en condiciones normales de funcionamiento en instalaciones diseñadas y operadas adecuadamente, y pueden utilizarse como indicadores clave del desempeño del tratamiento de aguas residuales. Los nuevos proyectos deben cumplir las Directrices sobre Ambiente, Salud y Seguridad de la NBP, o la normativa nacional (Anexo I de la NBP), la que sea más estricta.

Para prevenir los impactos ambientales y sociales, es crucial controlar periódicamente la calidad de los efluentes y proporcionar mecanismos de retroalimentación adecuados. En la Sección 6 de la NBP se proporciona más información sobre la correcta gestión de las aguas residuales en el

TABLA 4 Límites admisibles de los vertidos en los cuerpos de agua¹⁵

Contaminante	Valor guía
pH	6-9
DOB ₅	50 mg/L
DQO	250 mg/L
N _{Total}	10 mg/L
P _{Total}	2 mg/L
Grasas y aceites	10 mg/L
SST	50 mg/L
Aumento de temperatura	< 3 °C
Bacterias coliformes totales	400 MPN/100 mL

sector agroindustrial. Es esencial desarrollar y aplicar un programa con recursos suficientes y supervisión de la gestión para alcanzar los objetivos de un programa de seguimiento de las aguas residuales y la calidad del agua. La Tabla 9 de la NBP describe los puntos de muestreo y los requisitos analíticos para las muestras de aguas de proceso y aguas residuales, y recomienda una frecuencia de muestreo. Las normativas locales y otros requisitos de control de la calidad de las aguas residuales y del agua deben ser siempre la máxima prioridad y prevalecer sobre cualquier directriz o recomendación general. Aunque la frecuencia de muestreo sugerida puede ser un buen punto de partida, es esencial comprender y cumplir la normativa local y los requisitos establecidos por los organismos reguladores.

En el caso de las aguas residuales lácteas, el control de parámetros como el pH, la concentración de OD, la turbidez, la temperatura y el caudal de agua del efluente tratado debe realizarse con una frecuencia que pueda proporcionar datos representativos (para más información, consulte la Sección 6.5. de la NBP). La información registrada debe incluir la fecha, la

hora, los resultados de las mediciones, los ajustes realizados y otros datos relevantes. Es necesario utilizar equipos calibrados y asegurar que operarios capacitados realizan las mediciones. También se requiere un espacio de laboratorio en la planta de tratamiento para esta tarea. Deben establecerse procedimientos de registro para documentar los resultados del control. Los laboratorios externos certificados (preferiblemente ISO 17025) deberán proporcionar registros de seguimiento para los análisis microbianos y fisicoquímicos, y la frecuencia dependerá de los marcos normativos de cada región. La recomendación es hacerlo, al menos, trimestralmente.

4

Referencias

- (1) Futuris Consulting. Good Practice Note: Wastewater Management for the Agribusiness Sector, 2023.
- (2) EMR. Latin America Dairy Market Outlook. <https://www.expertmarketresearch.com/reports/LATAM-dairy-market>.
- (3) - Microbial Treatment of Heavy Metals, Oil, and Radioactive Contamination in Wastewaters. In Wastewater Treatment; Rao, D. G., Senthilkumar, R., Byrne, J. A., Feroz, S., Eds.; CRC Press, 2012; pp 200–225. <https://doi.org/10.1201/b12172-11>.
- (4) Boguniewicz-Zablocka, J.; Klosok-Bazan, I.; Naddeo, V. Water Quality and Resource Management in the Dairy Industry. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2019, 26 (2), 1208–1216. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0608-8>.
- (5) Fleiflec, A.; Saavedra, O.; Yoshimura, C.; Elzeir, M.; Tawfik, A. Optimization of Integrated Water Quality Management for Agricultural Efficiency and Environmental Conservation. *Environ Sci Pollut Res.* 2014, pp 8095–8111.
- (6) Qasim, W.; Mane, A. V. Characterization and Treatment of Selected Food Industrial Effluents by Coagulation and Adsorption Techniques. *Water Resour. Ind.* 2013, 4, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2013.09.005>.
- (7) Ganta, A.; Bashir, Y.; Das, S. Dairy Wastewater as a Potential Feedstock for Valuable Production with Concurrent Wastewater Treatment through Microbial Electrochemical Technologies. *Energies* 2022, 15 (23), 9084. <https://doi.org/10.3390/en15239084>.
- (8) Kolev Slavov, A. Dairy Wastewaters – General Characteristics and Treatment Possibilities – A Review. *Food Technol. Biotechnol.* 2017, 55 (1). <https://doi.org/10.17113/ftb.55.01.17.4520>.
- (9) Hung, Y.-T.; Britz, T. J. Treatment of Dairy Processing Wastewaters. 2006.
- (10) World Bank. Pollution Prevention and Abatement Handbook, 1998: Toward Cleaner Production; The World Bank, 1999. <https://doi.org/10.1596/0-8213-3638-X>.
- (11) Hassan, A. N.; Nelson, B. K. Invited Review: Anaerobic Fermentation of Dairy Food Wastewater. *J. Dairy Sci.* 2012, 95 (11), 6188–6203. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5732>.
- (12) Shi, W.; Healy, M. G.; Ashekuzzaman, S. M.; Daly, K.; Leahy, J. J.; Fenton, O. Dairy Processing Sludge and Co-Products: A Review of Present and Future Re-Use Pathways in Agriculture. *J. Clean. Prod.* 2021, 314, 128035.
- (13) Tirado, L.; Gökkuş, Ö.; Brillas, E.; Sirés, I. Treatment of Cheese Whey Wastewater by Combined Electrochemical Processes. *J. Appl. Electrochem.* 2018, 48 (12), 1307–1319. <https://doi.org/10.1007/s10800-018-1218-y>.
- (14) World Bank Group. Environmental, Health, and Safety Guidelines for Dairy Processing, 2007.
- (15) World Bank Group. Environmental, Health, and Safety Guidelines for Aquaculture, 2007.

