



GUÍA DEL SECTOR

**ALIMENTOS Y BEBIDAS**

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

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

<b>1</b>	<b>Introducción</b>	
1.1	Guía del sector y Nota de Buenas Prácticas(NBP).....	5
1.2	Fuentes de información.....	5
<b>2</b>	<b>Características del Sector y Producción de Aguas Residuales</b>	
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 residual.....	8
<b>3</b>	<b>Mejores Prácticas de Gestión de Aguas Residuales (MPGAR)</b>	
3.1	MPGAR para la prevención de la contaminación .....	9
3.2	Tratamiento de aguas residuales .....	10
3.3	Ejemplo de tratamiento de aguas residuales .....	11
3.4	Indicadores clave de desempeño y monitoreo.....	12
<b>4</b>	<b>Referencias</b>	

# Siglas

<b>A&amp;B</b>	Alimentos y bebidas
<b>BID</b>	Banco Interamericano de Desarrollo
<b>DBO</b>	Demanda bioquímica de oxígeno
<b>DQO</b>	Demanda química de oxígeno
<b>EC</b>	Electrocoagulación
<b>FAD</b>	Flotación por aire disuelto
<b>GyA</b>	Grasas y aceites
<b>GBM</b>	Grupo del Banco Mundial
<b>ISO</b>	Organización Internacional de Normalización
<b>LAC</b>	Latinoamérica y el Caribe
<b>MPGAR</b>	Mejores prácticas de gestión de aguas residuales
<b>NBP</b>	Nota de buenas prácticas
<b>NMP</b>	Número más probable
<b>OD</b>	Oxígeno disuelto
<b>OMS</b>	Organización Mundial de la Salud
<b>PTAR</b>	Planta de tratamiento de aguas residuales
<b>RAFA</b>	Reactor anaeróbico de flujo ascendente con manto de lodos
<b>SBR</b>	Reactores Discontinuos Secuenciales
<b>SST</b>	Sólidos Suspendidos Totales

# 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 agroindustrial<sup>1</sup>. 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 integral de las mejores prácticas de gestión de aguas residuales (MPGAR) para gestionar los impactos ambientales del procesamiento de alimentos y bebidas (A&B) bebidas, ayudando a las empresas a garantizar el cumplimiento de la normativa pertinente y promoviendo prácticas sostenibles que protejan la salud pública y el ambiente. En la Sección 2 se describen las características del sector, y en la Sección 3 las MPGAR, incluidas las de prevención de la contaminación (Sección 3.1) y las de tratamiento de aguas residuales (Sección 3.2).

La información relativa a los indicadores clave de rendimiento (KPI, por sus siglas en inglés) está vinculada a los marcos normativos específicos de cada país, y esta información se incluye en la Sección 2 y en 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 A&B 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 Alimentos y Bebidas, 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 clientes de BID Invest.

## 2

## Características del Sector y Producción de Aguas Residuales



### 2.1 PANORAMA GENERAL DEL SECTOR

La industria de A&B engloba una serie de subsectores dedicados a la fabricación, procesamiento y distribución de productos alimenticios y bebidas. La industria A&B abarca varios segmentos, como el procesamiento de frutas y verduras crudas, la conservación y el procesamiento de carne (incluida la carne de vacuno, cerdo y aves de corral), la conservación de pescado, crustáceos y moluscos, la producción de aceites y grasas vegetales y animales, la creación de productos de molienda de cereales, almidones, y la fabricación de otros productos alimenticios. También incluye la destilación, rectificación y mezcla de bebidas alcohólicas, la elaboración de bebidas fermentadas no destiladas, la producción de cerveza y vinos, la elaboración de refrescos y el embotellado de aguas minerales y otros tipos de aguas embotelladas<sup>2</sup>.

Para el año 2050, será necesario un aumento del 70% en la producción de A&B para satisfacer las necesidades de la población mundial que superará los 9,700 millones de personas. Latinoamérica y el Caribe (LAC), conocida por su importante capacidad de exportación de alimentos, estará en una posición favorable para capitalizar este mercado en expansión. Con sus abundantes recursos y potencial, LAC tiene enormes oportunidades para satisfacer la creciente demanda de alimentos y emerger como un actor importante en la industria alimentaria mundial en rápido crecimiento<sup>3</sup>. Asimismo, las proyecciones para 2018-2030

sugieren que la región de LAC experimentará un crecimiento superior a la media en varios sectores de la industria A&B. Se espera que la carne de ave crezca 2.9%, mientras que los productos pesqueros y los ingredientes alimentarios crecerán un 2.5% y un 3.5%, respectivamente. Además, LAC tienen potencial para aumentar su cuota actual del 12% en las exportaciones mundiales de productos alimentarios y agrícolas, lo que indica oportunidades prometedoras para que estas regiones amplíen aún más su presencia y contribuyan significativamente al comercio internacional de alimentos<sup>3</sup>.

## 2.2 USO DEL AGUA EN EL PROCESO INDUSTRIAL

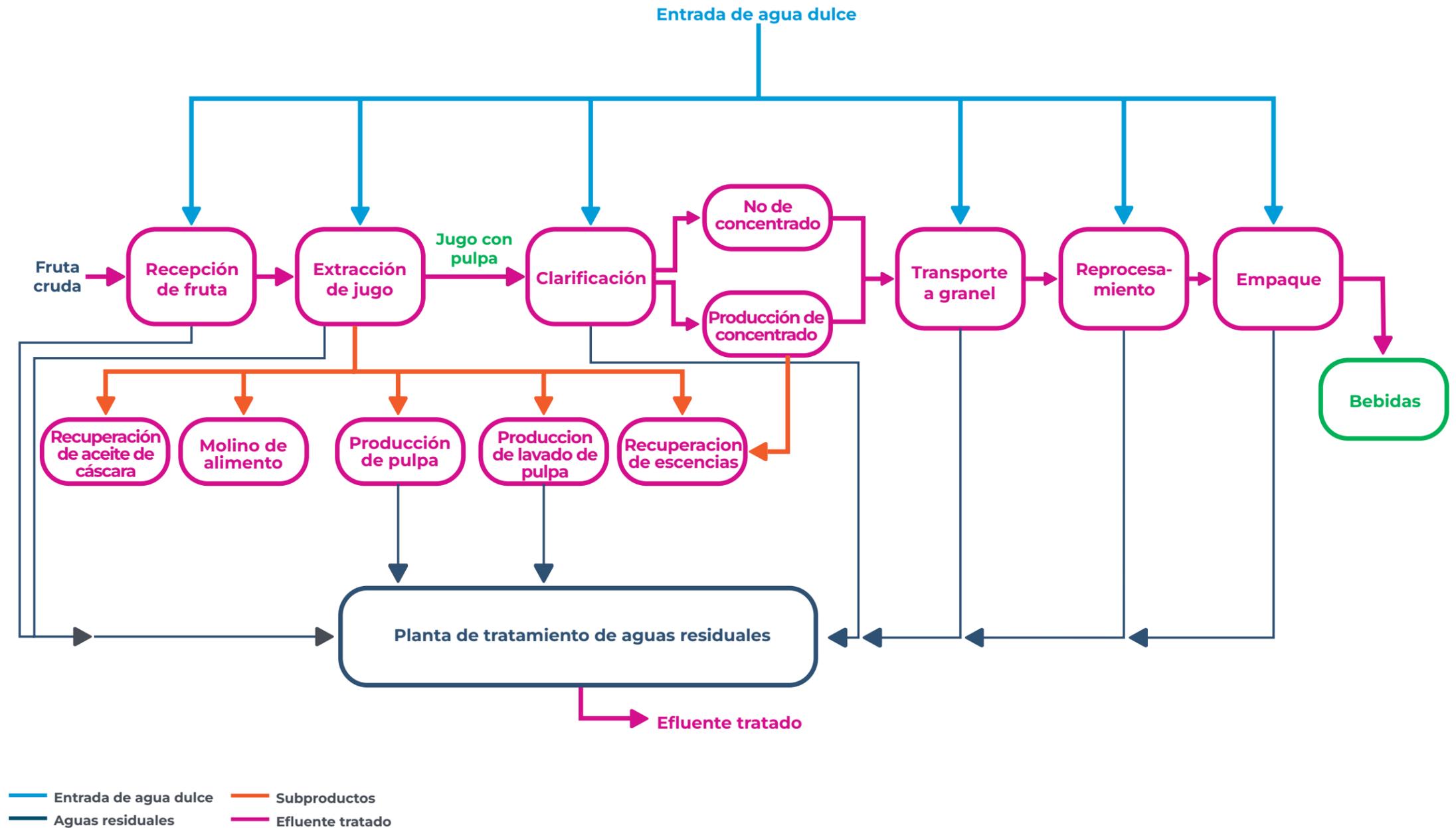
El agua desempeña un papel crucial en todas las fases de la cadena de valor y suministro del sector A&B. Por consiguiente, el sector tiene una huella hídrica importante, lo que significa que consume y afecta a una cantidad sustancial de recursos hídricos<sup>4</sup>.

El agua se utiliza en todas las etapas del proceso de producción de A&B, desde las fases iniciales hasta las finales. A lo largo del ciclo de producción, el agua se utiliza en diferentes actividades, como la preparación de ingredientes, mezclas, cocción, limpieza y envasado. Su presencia es indispensable para mantener las normas de higiene, la calidad de los productos y la eficiencia operativa general.

La cantidad de agua consumida en las industrias de A&B puede variar en función de factores como el tipo específico de industria, los parámetros del proceso, el tamaño de la unidad industrial, las operaciones de limpieza y el equipo utilizado en cada proceso<sup>5</sup>.

Para ilustrar los patrones de consumo de agua en el sector A&B, la Figura 1 presenta un diagrama de flujo resumido de una instalación de procesamiento de bebidas. Esta figura ofrece una visión de las distintas fases del ciclo de procesado y de cómo se utiliza el agua a lo largo de este.

FIGURA 1 Diagrama de flujo del procesamiento de bebidas



## 2.3 REVISIÓN GENERAL DE LA GENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

### 2.3.1 CONTAMINANTES PRINCIPALES Y SUS FUENTES

Las aguas residuales de las industrias de A&B contienen principalmente una gran cantidad de azúcar, saborizantes y aditivos colorantes, que contribuyen indirectamente al aumento de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO)<sup>6</sup>. Además, los agentes blanqueadores de limpieza, las sales, las fibras y las partículas de tierra aumentan los sólidos suspendidos totales (SST) de las aguas residuales. En algunas ocasiones, pueden contener residuos de pesticidas lavados de las materias primas<sup>7</sup>.

En general, las aguas residuales de las instalaciones de procesamiento de refrescos, cervecerías, bodegas y destilerías se caracterizan por altas concentraciones de DBO, SST, fósforo (P) y nitrógeno (N). Otras industrias específicas, como los ingenios azucareros y cafetaleros, se caracterizan por aguas residuales cargadas de materia orgánica, como azúcar, bagazo, melazas (en el caso de los ingenios azucareros), y pulpa y mucílago (en el caso de los beneficios húmedos de café). Debido a la naturaleza de estas aguas residuales, se espera que tengan efluentes de color marrón oscuro y ácidos que necesitan ser tratados antes de su vertido al ambiente.

### 2.3.2 PRINCIPALES IMPACTOS AMBIENTALES

En el sector, la transformación de productos agrícolas incluye a numerosos subsectores y procedimientos, formando una cadena de suministro compleja y con un elevado consumo de agua<sup>8</sup>. En consecuencia, la gestión de la cadena de suministro relacionada con el agua es cada vez más importante para identificar a los proveedores con elevados riesgos hídricos<sup>9</sup>.

La agricultura, componente clave de la industria de la alimentación y bebidas, contribuye de forma significativa a la extracción mundial de agua, debido a que utiliza hasta el 70% de los recursos de agua dulce del planeta<sup>10</sup>. Por consiguiente, es crucial abordar las prácticas de gestión del agua en la agricultura para garantizar un uso sostenible del agua.

Además, los efluentes vertidos por la producción de alimentos suelen plantear problemas, ya que es posible que no se biodegraden fácilmente ni sean tratados por las instalaciones municipales de aguas residuales, lo que puede provocar contaminación de las fuentes de agua. Las aguas residuales de la industria alimentaria y de bebidas, particularmente las que tienen una DBO y una DQO elevadas, pueden agotar rápidamente el contenido de oxígeno de los cuerpos de agua, poniendo en peligro la vida acuática y alterando la supervivencia de la flora y la fauna. Si las aguas residuales no tratadas se vierten en los cuerpos de agua, pueden crear condiciones sépticas, generando sulfuro de hidrógeno maloliente y provocando la precipitación de hierro y sales disueltas. En el caso de la industria azucarera, el vertido en los cuerpos de agua de polímeros sin tratar que contienen vinazas

que pueden bloquear la luz solar, reduciendo así la actividad fotosintética<sup>11</sup>. Como resultado, los cuerpos de agua contaminados con aguas residuales industriales se vuelven inadecuados para la vida acuática y el uso humano.

## 2.4 DESCRIPCIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL

La composición de los efluentes de A&B presenta grandes fluctuaciones debido a diversos procesos. Numerosos factores influyen en la concentración de contaminantes y en la composición de las aguas residuales crudas, 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 es reutilizada. En la Tabla 1 se resumen los parámetros de calidad de las aguas residuales de la industria de A&B.

**TABLA 1** Rango de parámetros de calidad de aguas residuales del procesamiento de alimentos y bebidas

Parámetros	Cervecería <sup>12</sup>	Frutas y verduras <sup>7</sup>	Ingenios azucareros con aguas de vinazas <sup>13</sup>
DQO (mg/L)	2,000-6,000	-	110,000 - 190,000
DBO (mg/L)	1,200-3,600	190 - 6,113	50,000-60,000
SST (mg/L)	2,900-3,000	177 - 4,133	13,000 - 15,000
N total (mg/L)	25-80	-	5,000 - 7,000
P total (mg/L)	10-50	3.1 - 8.6	2,500 - 2,700
pH	3.0-12	6.0 - 7.7	3.0-4.0

# 3

## Mejores Prácticas de Gestión de Aguas Residuales



### 3.1 PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN (MPGAR)

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 de manera efectiva las aguas residuales, la industria procesadora de A&B debe aplicar 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 A&B.

**TABLA 2** Técnicas de gestión preventiva ante la contaminación de las aguas residuales en la industria de alimentos y bebidas

Técnicas de gestión preventiva ante la contaminación	Descripción de controles
Reducción del consumo de agua en la planta de transformación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar auditorías anuales para identificar áreas de ineficiencia y desperdicio de agua.</li> <li>Dar un mantenimiento adecuado para minimizar las fugas de agua y el agua de refrigeración utilizada para las bombas mediante la instalación de cierres mecánicos.</li> <li>Reducir el transporte húmedo dentro del proceso y sustituirlo por opciones viables de transporte mecánico.</li> <li>Utilizar métodos de limpieza in situ para descontaminar los equipos.</li> <li>Limpiar las frutas y verduras crudas utilizando métodos secos, como la vibración o los chorros de aire. Reducir al mínimo el transporte húmedo y sustituirlo por transporte mecánico.</li> <li>Sustituir los equipos más antiguos y menos eficientes por modelos que consuman menos agua. Por ejemplo, instalar mangueras de alta presión y bajo volumen para la limpieza del equipo e instalar boquillas rociadoras.</li> <li>Implementar un sistema de control del agua para identificar las áreas de desperdicio y las oportunidades de mejora.</li> </ul>
Reutilizar el agua para reducir el consumo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instalar unidades de recirculación de agua con filtros u otros tratamientos para cumplir con la calidad del agua para su reutilización.</li> <li>Separar y recircular el agua de refrigeración de los flujos de proceso y de aguas residuales.</li> <li>Aumentar la vida útil de los limpiadores cáusticos recogiéndolos en un depósito de decantación aislado y reutilizándolos para lavar los equipos.</li> <li>Reutilizar el agua de proceso no filtrada ni tratada como primer enjuague en los ciclos de lavado o para la limpieza primaria de suelos y cunetas.</li> </ul>
Reducir las cargas contaminantes que entran en la PTAR <sup>14</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Proporcionar contenedores u otros recipientes para la eliminación de residuos sólidos y asegurar que los colaboradores entienden qué materiales deben recogerse y tratarse como residuos sólidos.</li> <li>Instalar equipos como rejillas, filtros y sifones en la planta de procesamiento para evitar que los sólidos entren en el flujo de aguas residuales.</li> <li>Separar el mucílago y la pulpa del flujo de aguas residuales en los beneficios húmedos de café y buscar alternativas para tratarlos o utilizarlos como subproducto.</li> </ul>

Las técnicas de gestión preventivas ante la contaminación en industrias y procesos específicos, como los ingenios azucareros, pueden consistir en utilizar el condensado de agua sobrante para la fusión, la fabricación de magma, la dilución de masa cocida y la limpieza del sistema de evaporación. Asimismo, el condensado sobrante puede enfriarse y utilizarse para sustituir el agua dulce. Es esencial instalar tanques de retención para almacenar el agua altamente contaminada durante la limpieza del molino para evitar una carga de choque en la planta de tratamiento.

En el caso de las fábricas de cerveza, eliminar el grano del tonel con métodos secos, como el rastillado o el cepillado, ayuda a reducir el consumo de agua, así como utilizar el agua de aclarado de las botellas para el lavado de las cajas. En cuanto a los molinos de café húmedos, se recomienda instalar equipos de despulpado y eliminación de mucílago que ahorren agua siempre que sea posible. Si se instala un equipo de eliminación de mucílago, hay que separar el mucílago y la pulpa del flujo de aguas residuales y buscar alternativas para tratarlos o utilizarlos como subproducto.

## 3.2 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (MPGAR)

Dada la variabilidad de la calidad y la cantidad de las aguas residuales en la industria A&B, no es factible utilizar un único proceso de tratamiento de aguas residuales estandarizado. En su lugar, se emplean diferentes tecnologías para tratar las aguas residuales de la industria. Estas tecnologías pueden ser utilizadas individualmente o en conjunto para asegurar el cumplimiento de los estándares de descarga requeridos. En la Tabla 3 se enumeran diferentes ejemplos de tecnologías.

Por ejemplo, en industrias como la azucarera, donde la contaminación es una de las principales preocupaciones, basarse exclusivamente en un único método para el tratamiento de los efluentes es insuficiente para cumplir las normas requeridas. Las prácticas habituales en la industria azucarera incluyen la fertilización, el compostaje y la concentración por evaporación, además de los métodos convencionales de tratamiento físico-químico y biológico<sup>11</sup>.

El tratamiento de las aguas residuales de la industria A&B consta de varias etapas que pueden clasificarse en tratamiento preliminar, primario y secundario. Estas etapas abordan colectivamente la diversa gama de contaminantes presentes en las aguas residuales, facilitando su eliminación y purificación.

### TRATAMIENTO PRELIMINAR

Consiste en la eliminación de sólidos y residuos de gran tamaño. Implica varios procesos como el tamizado, en el que las aguas residuales pasan a través de tamices o rejillas para capturar partículas grandes, como materiales de envasado y restos de comida. El desarenado es otro método habitual para eliminar partículas gruesas, como arena y grava, que podrían causar daños u obstrucción en procesos posteriores de tratamiento. Las trampas o interceptores de grasas también se emplean para separar y eliminar las grasas y aceites presentes en las aguas residuales de la industria alimentaria.

### TRATAMIENTO PRIMARIO O FÍSICO-QUÍMICO

El objetivo del tratamiento primario es eliminar físicamente los SST y la materia orgánica de las aguas residuales. Esta etapa suele consistir en la sedimentación, en la que las aguas residuales se retienen en balsas o depósitos para que los sólidos más pesados se depositen en el fondo en forma de lodos. El efluente clarificado se extrae de la parte superior para su posterior tratamiento. La flotación por aire disuelto (FAD) es otro proceso de tratamiento primario que introduce finas burbujas de aire que se adhieren a los sólidos en suspensión, haciéndolos flotar a la superficie para su eliminación. Los sistemas FAD se utilizan ampliamente porque permiten elevados índices de eliminación de DQO, color y turbidez<sup>5</sup>. Sin embargo, sus elevados costes energéticos y la posible eliminación limitada de los lodos debido a su toxicidad son factores a considerar al analizar su sostenibilidad. Los procesos de tratamiento químico utilizan la adición de productos químicos para alterar las propiedades de las aguas residuales y facilitar la eliminación de contaminantes. Entre los métodos habituales de tratamiento químico se encuentran la coagulación, la floculación, el ajuste del pH y la desinfección. Los coagulantes y floculantes se añaden para ayudar a la agregación y sedimentación de partículas finas, mientras que el ajuste del pH se realiza para optimizar el rendimiento de las etapas de tratamiento posteriores.

## TRATAMIENTO SECUNDARIO

El tratamiento secundario se dedica a la eliminación biológica de la materia orgánica disuelta y los nutrientes que quedan después del tratamiento primario. El proceso de lodos activados, los filtros percoladores y los reactores discontinuos secuenciales (SBR, por sus siglas en inglés) son los métodos más utilizados para el tratamiento secundario<sup>15</sup>. En el proceso de lodos activados, la materia orgánica es descompuesta por microorganismos en tanques de aireación. Los filtros percoladores utilizan biopelículas en medios sólidos para degradar los contaminantes a medida que las aguas residuales se filtran. Los SBR implican ciclos secuenciales de aireación, sedimentación y decantación, todo ello dentro de un único tanque de tratamiento. Otra tecnología comúnmente utilizada para el tratamiento secundario en la industria de alimentación y bebidas es el reactor anaeróbico de flujo ascendente con manto de lodos (RAFA). El reactor es un sistema de tratamiento anaeróbico que utiliza un lecho de lodo granular para eliminar los contaminantes orgánicos y los nutrientes de las aguas residuales. Funciona en sentido ascendente, con las aguas residuales ingresando por el fondo del reactor y fluyendo hacia arriba a través del manto de lodos. Los RAFA son especialmente adecuados para aguas residuales de A&B con una elevada carga orgánica, debido a que proporcionan un tratamiento eficaz y rentable<sup>2</sup>.

**TABLA 3** Tecnologías de tratamiento comunes para las aguas residuales de la industria A&B

Industria	Tratamiento preliminar	Tratamiento primario	Tratamiento secundario	Tratamiento terciario	Tratamiento de lodos	Tecnologías emergentes
Alimentos y bebidas.	Ecuilibración del caudal, rejillas y filtros mecánicos.	Depósito de sedimentación, flotación por aire disuelto 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, UV (si hay patógenos, especialmente si las aguas residuales se riegan). Filtro multimedia, filtro de arena, filtro de tela, ultrafiltración, microfiltración.	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.	Electrocoagulación y sistemas híbridos <sup>16</sup> . Micro/ultra/nanofiltración combinada con ósmosis inversa <sup>17</sup> . Oxidación química y electrooxidación <sup>18</sup> . Celdas de combustible microbianas <sup>19</sup> .

## TRATAMIENTO DE LODOS

En la industria A&B, el tratamiento de lodos desempeña un papel crucial en la gestión de los residuos sólidos generados durante el tratamiento de las aguas residuales. Los lodos contienen una mezcla de materia orgánica e inorgánica, y su tratamiento es necesario para garantizar su eliminación segura o su reutilización beneficiosa. Los procesos típicos de tratamiento de lodos en la industria de A&B incluyen espesamiento, estabilización, deshidratación, acondicionamiento y eliminación o reutilización.

## 3.3 EJEMPLO DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES (MPGAR)

A continuación, se describe un ejemplo tomado de uno de los clientes de BID Invest: Una planta de jugo de limón situada en Sudamérica procesa 230,000 toneladas de limones al año entre marzo y agosto. La planta de tratamiento de aguas residuales consta de tres etapas. La primera etapa es un proceso fisico-químico con filtros estáticos y un FAD. En esta etapa se utiliza cal para neutralizar el efluente. Seguidamente, el flujo de agua entra en una segunda etapa anaerobia que utiliza RAFA alimentados con biogás para calentar el sistema. La tercera etapa, aeróbica, consta de reactores de lodos activados. El efluente tratado se utiliza para el riego de los campos de producción. Esta configuración de planta de tratamiento de aguas residuales permite eliminaciones en DQO del 98%, en DBO del 99% y en SST del 99,9%.

**FIGURA 2** Diagrama de flujo de una planta de jugo de limón en Sudamérica



Fuente: Elaboración propia

### 3.4 INDICADORES CLAVE DE RENDIMIENTO 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 del 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 Alimentos y Bebidas del Grupo del Banco Mundial (GBM) establecen los límites máximos admisibles de vertido en cuerpos de agua para los parámetros enumerados a continuación en la Tabla 4<sup>20</sup>. Estos límites deben ser

alcanzables en condiciones normales de funcionamiento en instalaciones diseñadas y operadas adecuadamente, y pueden utilizarse como indicadores clave del rendimiento 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.

**TABLA 4** Límites admisibles de los vertidos en los cuerpos de agua <sup>21</sup>

Contaminante	Valor guía
pH	6-9
DBO <sub>5</sub>	50 mg/L
DQO	250 mg/L
N <sub>Total</sub>	10 mg/L
P <sub>Total</sub>	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

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 mayor información sobre la correcta gestión de las aguas residuales en el 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.

El control periódico del pH, la concentración de oxígeno disuelto, la turbidez, la temperatura, la DQO, los sólidos sedimentables y el caudal de agua en el efluente tratado, es crucial en el proceso de tratamiento de aguas residuales de la industria de A&B. La frecuencia del control debe proporcionar datos representativos, y la

información registrada debe incluir la fecha, la hora, los resultados de las mediciones, los ajustes realizados y otros datos relevantes. Es importante 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 adecuados para documentar con exactitud los resultados del control. Además, 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) Valta, K.; Kosanovic, T.; Malamis, D.; Moustakas, K.; Loizidou, M. Overview of Water Usage and Wastewater Management in the Food and Beverage Industry. *Desalination Water Treat.* 2015, 53 (12), 3335–3347. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.934100>.
- (3) Opertti, F.; Levington, C. Innovaciones Que Están Transformando El Sector de Alimentos y Bebidas. 2019. <https://blogs.iadb.org/integracion-comercio/es/las-innovaciones-que-estan-transformando-el-sector-alimentos-y-bebidas/>.
- (4) Weber, O.; Saunders-Hogberg, G. Water Management and Corporate Social Performance in the Food and Beverage Industry. *J. Clean. Prod.* 2018, 195, 963–977. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.05.269>.
- (5) Shrivastava, V.; Ali, I.; Marjub, M. M.; Rene, E. R.; Soto, A. M. F. Wastewater in the Food Industry: Treatment Technologies and Reuse Potential. *Chemosphere* 2022, 293, 133553. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133553>.
- (6) Muhamad Ng, S. N.; Idrus, S.; Ahsan, A.; Tuan Mohd Marzuki, T. N.; Mahat, S. B. Treatment of Wastewater from a Food and Beverage Industry Using Conventional Wastewater Treatment Integrated with Membrane Bioreactor System: A Pilot-Scale Case Study. *Membranes* 2021, 11 (6), 456. <https://doi.org/10.3390/membranes11060456>.
- (7) OCETA. A Review of Wastewater Management and Best Practices for Dischargers in the Food Processing Sector, 2005.
- (8) Aivazidou, E.; Tsolakis, N.; Iakovou, E.; Vlachos, D. The Emerging Role of Water Footprint in Supply Chain Management: A Critical Literature Synthesis and a Hierarchical Decision-Making Framework. *J. Clean. Prod.* 2016, 137, 1018–1037. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.210>.
- (9) Schaefer, T.; Udenio, M.; Quinn, S.; Fransoo, J. C. Water Risk Assessment in Supply Chains. *J. Clean. Prod.* 2019, 208, 636–648. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.262>.
- (10) World Bank Group. Water in Agriculture. <https://www.worldbank.org/en/topic/water-in-agriculture>.
- (11) Fito, J.; Tefera, N.; Van Hulle, S. W. H. Sugarcane Biorefineries Wastewater: Bioremediation Technologies for Environmental Sustainability. *Chem. Biol. Technol. Agric.* 2019, 6 (1), 6. <https://doi.org/10.1186/s40538-019-0144-5>.
- (12) Simate, G. S.; Cluett, J.; Iyuke, S. E.; Musapatika, E. T.; Ndlovu, S.; Walubita, L. F.; Alvarez, A. E. The Treatment of Brewery Wastewater for Reuse: State of the Art. *Desalination* 2011, 273 (2–3), 235–247. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.02.035>.
- (13) Dhote, L.; Kumar, S.; Singh, L.; Kumar, R. A Systematic Review on Options for Sustainable Treatment and Resource Recovery of Distillery Sludge. *Chemosphere* 2021, 263, 128225. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128225>.
- (14) World Bank. Pollution Prevention and Abatement Handbook, 1998: Toward Cleaner Production; The World Bank, 1999. <https://doi.org/10.1596/0-8213-3638-X>.
- (15) - 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>.
- (16) Khani, M. R.; Kuhestani, H.; Kalankesh, L. R.; Kamarehei, B.; Rodríguez-Couto, S.; Baneshi, M. M.; Shahamat, Y. D. Rapid and High Purification of Olive Mill Wastewater (OMV) with the Combination Electrocoagulation-Catalytic Sonoperoxone Processes. *J. Taiwan Inst. Chem. Eng.* 2019, 97, 47–53. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2019.02.003>.
- (17) Ochando-Pulido, J. M.; Martínez-Ferez, A. Novel Micro/Ultra/Nanocentrifugation Membrane Process Assessment for Revalorization and Reclamation of Agricultural Wastewater. *J. Environ. Manage.* 2018, 222, 447–453. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.092>.
- (18) Tiwari, A.; Sahu, O. Treatment of Food-Agro (Sugar) Industry Wastewater with Copper Metal and Salt: Chemical Oxidation and Electro-Oxidation Combined Study in Batch Mode. *Water Resour. Ind.* 2017, 17, 19–25. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2016.12.001>.
- (19) Firdous, S.; Jin, W.; Shahid, N.; Bhatti, Z. A.; Iqbal, A.; Abbasi, U.; Mahmood, Q.; Ali, A. The Performance of Microbial Fuel Cells Treating Vegetable Oil Industrial Wastewater. *Environ. Technol. Innov.* 2018, 10, 143–151. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.02.006>.
- (20) World Bank Group. Environmental, Health, and Safety Guidelines for Food and Beverage Processing, 2007.
- (21) World Bank Group. Environmental, Health, and Safety Guidelines for Aquaculture, 2007.

