



NOTA DE BUENAS PRÁCTICAS

**GESTIÓN DE AGUAS
RESIDUALES PARA EL
SECTOR AGROINDUSTRIAL
PARA BID INVEST**

Título y referencia	Nota de Buenas Prácticas Gestión de aguas residuales para el sector agroindustrial	Versión final
Ciente	João Paulo Diniz Abud, BID Invest..... Natazha Valarezo, BID Invest..... Paula Valencia, BID Invest.....	jdinizabud@iadb.org PaulaVa@iadb.org natazhav@iadb.org
Preparado por	Mauricio Morera, Experto en aguas residuales..... Mónica Salas, Experto en aguas residuales.....	ma.morera@gmail.com msalas@auroraingenieria.com
Aprobado por	Natalia Benavides, Consultora Senior, Futuris..... Emma Tristán, Directora General, 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

Antecedentes y objetivos6

1.2

Estructura y visión general de la NBP.....7

1.3

Aplicabilidad y destinatario meta.....7

2

Revisión del Contexto Regulatorio de América Latina y Caribe

2.1

Visión general8

2.2

Contexto normativo de ALC.....8

2.3

Comparación de la normativa sobre aguas residuales en los países de américa latina y el caribe.....9

3

Mejores Prácticas de Gestión de las Aguas Residuales (MPGAR)

3.1

Mejores prácticas de gestión de aguas residuales.....13

3.2

Gestión y responsabilidades de las MPGAR.....14

3.3

Principales barreras para la adopción de MPGAR.....15

4

Mejores prácticas para la prevención de la contaminación

4.1

¿Qué abarcan las mejores prácticas para la prevención de la contaminación y cuáles son sus beneficios?.....16

4.2

Implementación las mejores prácticas para la prevención de la contaminación.....17

4.3

Ejemplos de mejores prácticas de prevención de la contaminación para la agroindustria.....20

5

Mejores prácticas del tratamiento de aguas residuales

5.1

Cuando aplicar las mejores prácticas de tratamiento de aguas residuales23

5.2

Revisión de las características de las aguas residuales y enfoque de tratamiento para diferentes agronegocios27

6

Gestión de efluentes

6.1

Gestión de efluentes y evaluación de riesgos.....32

6.2

Consideraciones generales para descargas de aguas residuales32

6.3

Reutilización de efluentes.....35

6.4

Evaluación basada en riesgos de la descarga de aguas residuales35

6.5

Monitoreo de efluentes.....39

7

Revisión de casos de negocios para buenas prácticas de gestión de aguas residuales dentro del sector agroindustrial

7.1

Antecedentes y justificación de la revisión de un caso de negocio42

7.2

Caso 1: Planta procesadora de jugo delimón.....42

7.3

Caso 2: Empresa procesadora de aves decorral.....43

7.4

Caso 3: Cría y producción porcina.....44

7.5

Resumen y aprendizajes de los estudiosdecaso.....45

8

Referencias

A

Anexo

1.

Referencias regulatorias de aguas residuales para ALC a mayo de 2023.....48

2.

Contexto regulatorio de tres países clave.....51

3.

Más información para desarrollar un procedimiento de evaluación de riesgos dedescarga.....53

4.

Lineamientos a considerar al contratar consultores en evaluación de riesgos o expertos en la materia55

5.

Solicitud de Evaluación de Riesgos deDescarga.....56

6.

Glosario y términos clave.....58

Índice de Tablas

TABLA 1	Comparación de los límites de descarga de efluentes en cuerpos de agua para parámetros de calidad en países de ALC.....	13
TABLA 2	Comparación de los límites de vertido de efluentes en zonas costeras para parámetros de calidad en los países de ALC.....	13
TABLA 3	Comparación de los límites de vertido de efluentes en los sistemas de alcantarillado sanitario de los países de ALC.....	14
TABLA 4	Comparación de los límites de vertido de efluentes para la reutilización de aguas residuales tratadas mediante riego paisajístico, fertirrigación o infiltración en los países de ALC	15
TABLA 5	Biorreactores utilizados para el tratamiento de aguas residuales y la producción de Biogas (H ₂ and CH ₄).....	31
TABLA 6	Resumen comparativo de cargas contaminantes en aguas residuales de diferentes industrias.....	37
TABLA 7	Resumen de tecnologías comunes de tratamiento para procesos agroindustriales.....	38
TABLA 8	Métodos estándar convencionales para análisis y pruebas de parámetros de aguas residuales.....	49
TABLA 9	Descripción de los puntos de muestreo y los requisitos analíticos para muestras de agua de proceso y aguas residuales (para usarse junto con la Figura A-4.1).....	51

Índice de Figuras

FIGURE 1	Implementación de las mejores prácticas de gestión de aguas residuales para la prevención de la contaminación (OCETA, 2005).....	24
FIGURE 2	Pasos para implementar mejores prácticas de tratamiento de aguas residuales.....	29
FIGURE 3	Revisión del procedimiento de análisis de riesgos por niveles.....	46
FIGURE 4	Ejemplo de revisión de receptores sensibles para el riego de aguas residuales.....	47
FIGURE 5	Ejemplo de factor estresante y definición de riesgo para un vertido directo a un río.....	47
FIGURE 6	Diagrama de flujo genérico para la identificación de puntos de monitoreo de aguas de proceso y aguas residuales	50

Siglas

AGV	Ácidos grasos volátiles
ALC	América Latina y el Caribe
AOX	Halógenos orgánicos adsorbibles
BID	Banco Interamericano de Desarrollo
BPII	Buenas prácticas industriales internacionales
B.R.	Basado en el riesgo
CE	Contaminantes emergentes
DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DQO	Demanda química de oxígeno
EHS	Salud, seguridad y ambiente, por sus siglas en inglés
EPA	Agencia de Protección Ambiental
EUA	Eficiencia en el uso del agua
FAD	Flotación por aire disuelto
FDS	Fichas de datos de seguridad
GyA	Grasas y aceites

GBM	Grupo del Banco Mundial
GEI	Gas de efecto invernadero
ICA	Índice de calidad del agua
IDA	Indicador de desempeño ambiental
K	Potasio
LIS	Limpieza in situ
L/O	Limpieza y operaciones
ME	Métodos estándar
MPG	Mejores prácticas de gestión
MPGAR	Mejores prácticas de gestión de aguas residuales
N	Nitrógeno
NBP	Nota de buenas prácticas
NMP	Número más probable
N.R.	No regulado
NU	Naciones Unidas

OD	Oxígeno disuelto
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OMS	Organización Mundial de la Salud
P	Fósforo
P&E	Procesos y equipos
PTAR	Planta de tratamiento de aguas residuales
RAS	Relación de absorción de sodio
RAFA	Reactor anaeróbico de flujo ascendente con manto de lodos
SS	Sólidos sedimentables
SDT	Sólidos disueltos totales
SST	Sólidos suspendidos totales
UNT	Unidades de turbidez nefelométricas
UV	Ultravioleta
ZMD	Zona de mezcla de descarga

7 Introducción



1.1 ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

La agroindustria desempeña un papel vital en la economía global, ya que suministra alimentos, bebidas y productos esenciales a la población mundial. Garantizar la seguridad alimentaria y satisfacer las necesidades de una población en crecimiento amplifica la importancia de su función. A medida que aumenta la demanda mundial de productos agrícolas, abordar el impacto ambiental del sector se vuelve cada vez más urgente.

Adicionalmente, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas enfatizan la importancia de la sostenibilidad en todos los sectores, incluida la agroindustria. La gestión adecuada de los aspectos ambientales de este sector se alinea con varios ODS, como la promoción del agua limpia y el saneamiento, el consumo y la producción responsable y la adopción de medidas claras para hacer frente al cambio climático.

Uno de los principales desafíos ambientales vinculados a la agroindustria es el manejo inadecuado de las aguas residuales originadas por sus operaciones. Es conocido que estas aguas residuales tienen varios contaminantes, incluidas altas concentraciones de contaminantes orgánicos, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), grasas y aceites (GyA), sólidos suspendidos totales (SST) y nutrientes como el nitrógeno (N) y fósforo (P). Dependiendo de las operaciones de procesamiento específicas, también pueden estar presentes otros contaminantes, tales como agentes desinfectantes, pesticidas, medicamentos veterinarios o componentes de productos químicos comerciales. Estos contaminantes pueden afectar negativamente al ambiente y a la salud

pública sino se tratan correctamente.

Esta Nota de Buenas Prácticas (NBP) tiene como objetivo proporcionar una orientación práctica sobre la gestión adecuada de las aguas residuales en el sector agroindustrial. Además, tiene otros tres objetivos:

- 1) Compilar ejemplos representativos de buenas prácticas de gestión de aguas residuales en proyectos agroindustriales.
- 2) Ofrecer orientación precisa para la gestión de riesgos de las descargas de efluentes a los cuerpos de agua o la reutilización en el riego o fertirriego.
- 3) Brindar asistencia técnica y consultiva a los actores ambientales pertinentes a evaluar la correcta implementación de la gestión de aguas residuales.

Al lograr estos objetivos, la nota pretende contribuir a la protección del ambiente, garantizar la sostenibilidad a largo plazo y apoyar el logro del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) No. 6 para la región de América Latina y el Caribe (ALC).

En general, es esencial tener en cuenta que la implementación de la gestión de aguas residuales puede variar considerablemente según el contexto y los factores específicos del sitio. La gestión de las aguas residuales implica una amplia gama de factores, como la diversa disponibilidad de recursos hídricos, los niveles de desarrollo económico, las operaciones de procesamiento y las diversas condiciones climáticas, lo que puede plantear importantes desafíos. Es importante comprender que esta NBP se complementa con guías de sectores específicos de la industria para la

acuicultura, el procesamiento de productos lácteos, alimentos y bebidas, y el procesamiento de carne.

1.2 ESTRUCTURA Y VISIÓN GENERAL DE LA NBP

Esta NBP guía a las organizaciones para lograr la protección del ambiente y garantizar la sostenibilidad a largo plazo a través de las mejores prácticas de gestión de aguas residuales en la agroindustria. La nota está organizada en seis secciones:

LA PRIMERA SECCIÓN

“Revisión del Contexto Regulatorio de ALC”, ofrece una visión general de los marcos regulatorios regionales e incluye información de ocho países para mostrar los diferentes avances en materia regulatoria. También compara los valores de la calidad que deben alcanzar los efluentes. Cabe destacar que algunos países de la región ALC utilizan una metodología de evaluación de riesgos basada en la capacidad del cuerpo receptor para establecer parámetros máximos de descarga. A diferencia, otros países tienen una legislación menos desarrollada y los parámetros dependen de los límites máximos permisibles establecidos.

LA SEGUNDA SECCIÓN

“Revisión de las mejores prácticas de gestión de aguas residuales para la agroindustria y los procesadores de alimentos”, analiza las Mejores prácticas de gestión de aguas residuales (MPGAR) para la agroindustria. Las MPGAR son prácticas industriales que evitan que sustancias tóxicas o peligrosas lleguen al ambiente. La gestión y responsabilidad de las MPGAR son cruciales para una gestión eficaz y sostenible de las aguas residuales. Las medidas de rendicion de cuentas, como los informes públicos y la participación de las partes interesadas, pueden mejorar la percepción pública y el apoyo a las prácticas de gestión de las aguas residuales. La responsabilidad de implementar las MPGAR recae en los distintos agentes implicados en la gestión de las aguas residuales, incluidos los funcionarios de salud ambiental y seguridad (EHS, por sus siglas en inglés), los coordinadores de EHS, los directores de las instalaciones y los operadores de las PTAR. En esta sección también se analizan los obstáculos que dificultan la adopción de las MPGAR, tal como la necesidad de tener una mayor sensibilización y visión, tiempo y recursos humanos, conocimientos técnicos y experiencia.

LA TERCERA SECCIÓN

se centra en la implementación de un plan de Prevención de la Contaminación y destaca la importancia del compromiso de la Alta Direccion o gerencia mediante la aplicación de las MPGAR. La sección comienza con una descripción concisa de los planes de prevención de la contaminación y sus beneficios asociados. Explora el procedimiento de implementación del plan y enfatiza la necesidad de crear un plan a la medida o Individualizado adaptado a los requerimientos de la industria. La sección también incluye ejemplos de MPGAR para la prevención de la contaminación para en agroindustria con el fin de ilustrar la aplicación práctica del plan.

LA CUARTA SECCIÓN

Se analiza la importancia de implementar las MPGAR y ofrece una revisión exhaustiva de las características de las aguas residuales de distintas agroindustrias y de los métodos de tratamiento adecuados. El proceso de implementación de las MPGAR se divide en tres pasos esenciales. El primer paso consiste en clasificar las etapas de tratamiento de las aguas residuales en función de sus características y del nivel de concentración de sus contaminantes; el segundo paso requiere determinar el nivel de tratamiento adecuado en función de la clasificación de las aguas residuales, la regulación local y el punto de vertido; el último paso consiste en seleccionar la tecnología de tratamiento específica que se utilizará para alcanzar el nivel de tratamiento requerido.

LA QUINTA SECCIÓN

se centra en la gestión de los efluentes y sus riesgos. Esta sección resume las consideraciones generales que las empresas deben de tomar en cuenta a la hora de verter aguas residuales, como la calidad y cantidad del vertido y el impacto potencial sobre el ambiente. Esta sección también cubre la reutilización de efluentes, que se está convirtiendo en una opción cada vez más popular para las empresas que buscan reducir su huella hídrica. La evaluación basada en el riesgo de los vertidos de aguas residuales es otro aspecto crítico en esta sección. La parte final trata sobre el monitoreo de efluentes, que es esencial para garantizar el cumplimiento de las regulaciones relevantes e identificar posibles problemas de vertido de aguas residuales.

LA SEXTA SECCIÓN

Presenta los antecedentes y la justificación de estudios de caso de negocio, incluyendo tres que ilustran buenas prácticas de gestión de aguas residuales en la agroindustria. Los estudios de caso tratan son una planta de procesado de zumo de limón, una empresa de procesado de aves de corral y una instalación de cría y producción porcina. La sección concluye con un resumen de las principales lecciones de dichos estudios.

1.3 APLICABILIDAD Y PÚBLICO META

Esta NBP está diseñada para proporcionar orientación y recomendaciones a los clientes de BID Invest y a los encargados de la toma de decisiones responsables de planificar, diseñar e implementar estrategias de gestión de aguas residuales, en particular en los sectores de la acuicultura, el procesamiento de productos lácteos, alimentos y bebidas, y el sector de procesamiento de carne.

El público objetivo incluye a los profesionales de la agroindustria que participan en el desarrollo y la implementación de estrategias de gestión de aguas residuales para reducir los impactos ambientales y cumplir con los requisitos reglamentarios.

2

Revisión del Contexto Regulatorio de América Latina y el Caribe



2.1 VISIÓN GENERAL

Esta sección ofrece una visión general de la normativa vigente relacionada con las aguas residuales en ALC. Comienza describiendo la disponibilidad y la gestión de los recursos hídricos de la región. Continúa con el análisis de los principales razones que han llevado al desarrollo de regulaciones, como los acuerdos internacionales (sección 2.2.2). La sección también hace hincapié en la importancia de alinear el tratamiento de las aguas residuales con el concepto de economía circular, reduciendo así la huella hídrica. Por último, la sección ofrece un análisis comparativo de las normativas sobre aguas residuales en ocho países de ALC (Argentina, Brasil, Chile, Ecuador, Honduras, México, Perú y República Dominicana) examinando los parámetros de calidad del agua asociados a la descarga de efluentes.

El análisis comparativo se enfoca en cuatro métodos de descarga: vertido directo en cuerpos de agua superficiales, zonas costeras, alcantarillado sanitario y reutilización para riego, fertirrigación o infiltración. Es importante señalar que todos los países analizados han establecido normativas para los parámetros de vertido de aguas residuales. Aun así, existen diferencias significativas en los valores de calidad establecidos. En la sección 2.3 se realiza un análisis comparativo de las normativas sobre aguas residuales de ocho países de ALC. Es importante tomar en cuenta que este análisis comparativo no es exhaustivo y tiene limitaciones. Por ejemplo, sólo incluye ocho países y no representa a toda la región. Además, el estudio no tiene en cuenta la implementación de la normativa sobre aguas residuales, que puede variar significativamente de un país a otro y repercutir en la calidad de los vertidos de aguas residuales. Es importante señalar

que BID Invest también se adhiere a los valores de referencia de las Guías sobre ambiente, salud y seguridad del GBM. En los casos en que la normativa del país anfitrión difiere de los niveles y medidas descritos en las Guías sobre ambiente, salud y seguridad, se requiere que los proyectos cumplan la más estricta de las dos normas.

Además del análisis comparativo de las regulaciones de aguas residuales, el informe incluye dos anexos que proporcionan un contexto adicional de referencia; en el Anexo 1, se presenta una tabla de referencia regulatoria de aguas residuales (Tabla A-1) para ALC, que describe el marco legislativo en materia de aguas residuales en ALC, así como las principales autoridades relacionadas con el marco administrativo institucional de la gestión de aguas residuales; el Anexo 2 proporciona un análisis más profundo del contexto regulatorio de tres países diferentes: México, Brasil y Honduras.

2.2 CONTEXTO NORMATIVO DE ALC

2.2.1 CALIDAD Y DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO

La escasez de agua es un problema de relevancia global que afecta cada vez a más personas en el mundo. Los países de ALC poseen alrededor del 35% de los recursos hídricos renovables

del mundo. Sin embargo, la gestión de los recursos hídricos, el acceso al saneamiento y la desigualdad en la región han convertido la gestión del agua en un problema de creciente interés para los responsables de la toma de decisiones (Rodríguez et al., 2022). Para garantizar la calidad de los recursos hídricos, la mejora de la vigilancia de las fuentes de contaminación y el control de los vertidos deben reconocerse como una solución sostenible a los aspectos cuantitativos y cualitativos de la actual crisis del agua (Alabaster et al., 2021). En un mercado mundial en rápida evolución, los países de ALC se enfrentan a presiones cada vez mayores para prevenir la contaminación ambiental mientras luchan por ser más productivos y competitivos económicamente.

Estos escenarios llevaron a que en 2015, la Asamblea General de las Naciones Unidas, en el contexto de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, estableciera el objetivo de mejorar el tratamiento de las aguas residuales y aumentar la reutilización del agua para promover una transición hacia una economía circular. Si bien la región de ALC ha avanzado de manera desigual hacia el logro del acceso universal a un saneamiento mejorado, aún enfrenta importantes desafíos para alcanzar un estado sostenible. (Benavides et al., 2019).

2.2.2 PRINCIPALES ELEMENTOS QUE IMPULSAN LOS CAMBIOS NORMATIVOS

Cada país tiene una historia única, que incluye una combinación particular de antecedentes históricos, marcos legales propios y distintas orientaciones políticas, lo que implica la implementación regulaciones altamente

específicas para cada contexto (Allaoui et al., 2015). La región de ALC ha experimentado un rápido y reciente aumento del impulso institucional en torno al tratamiento y la eliminación de las aguas residuales, lo que se ha traducido en una tendencia hacia una normativa y una aplicación más estrictas. Este cambio ha sido impulsado por la degradación ambiental, el crecimiento demográfico, la urbanización, la presión de las organizaciones internacionales, los acuerdos comerciales internacionales, los requisitos financieros internacionales y la concienciación de la sociedad civil. Además, están aumentando las sanciones fiscales por infracciones ambientales y la aplicación de las leyes ambientales (Banco Interamericano de Desarrollo, 2016).

Una serie de iniciativas y conferencias internacionales, como la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Ambiente de 1992, el Acuerdo de París, las Conferencias de las Partes de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y el Foro Mundial del Agua de 2018 en Brasilia, han desempeñado un papel fundamental en la promoción del control de la contaminación y han contribuido a fomentar el acuerdo sobre programas y políticas internacionales, así como el fortalecimiento del marco jurídico mundial que aborda las cuestiones de la gestión de las aguas residuales y el suministro de agua potable y saneamiento (Allaoui et al., 2015).

Del mismo modo, el ODS n.º 6 destaca la necesidad de agua limpia y saneamiento, con el objetivo de mejorar la calidad del agua mediante la reducción de la contaminación, la eliminación de los vertidos incontrolados, la reducción al mínimo de la liberación de productos químicos y materiales peligrosos, el aumento sustancial del reciclaje y la reutilización segura a nivel mundial para 2030. Dado que muchos países de ALC han adoptado estos objetivos como parte de sus estrategias nacionales de desarrollo, se enfrentan al reto de mejorar sus normativas y políticas para alcanzarlos.

PRINCIPALES ELEMENTOS IMPULSORES DE LOS CAMBIOS NORMATIVOS EN ALC

- Presión de las organizaciones internacionales.
- Degradación medioambiental.
- Crecimiento demográfico y urbanización.
- Acuerdos comerciales internacionales.
- Requisitos de financiamiento internacional.

2.2.3 CAMBIO DE PARADIGMA Y ECONOMÍA CIRCULAR

Actualmente se está produciendo un cambio de paradigma en la forma de ver las aguas residuales en la región de ALC. En lugar de ser vistas como residuos, cada vez se reconocen más como un recurso que tiene el potencial de mejorar el uso sostenible del agua. Este cambio se alinea con el concepto de economía circular, que hace hincapié en la reutilización de los recursos en lugar de desecharlos después de su uso. Las políticas y normativas internas de cada país determinan en gran medida la efectividad de este enfoque. En la actualidad, la normativa en relación a la reutilización de las aguas residuales varía enormemente en la región. Algunos países, como Argentina y la República Dominicana, carecen de regulación, como se muestra en la sección 2.3.5, mientras que otros permiten la reutilización para actividades específicas como el riego agrícola.

Por ejemplo, Colombia ha renovado su normativa para permitir la reutilización de aguas residuales tratadas para el riego agrícola. Al mismo tiempo, Guatemala y México cuentan con normativas que autorizan la reutilización para diversos fines agrícolas y recreativos. En la sección 2.3.5 se resumen los límites contemplados en los marcos jurídicos para la

reutilización del agua. A pesar de los avances en algunas áreas, la región requiere mayor soporte en la transición hacia una economía circular del agua. Para lograrlo, es necesario reforzar las instituciones y la legislación a fin de incentivar la inversión y el desarrollo de sistemas de tratamiento de aguas residuales para revalorizar este recurso y reducir la presión sobre los recursos hídricos.

2.3 COMPARACIÓN DE LA NORMATIVA SOBRE AGUAS RESIDUALES EN LOS PAÍSES DE AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE

2.3.1 REFERENCIAS A LA NORMATIVA SOBRE AGUAS RESIDUALES EN ALC

Las constituciones políticas de la mayoría de los países de ALC incluyen disposiciones relativas a los recursos hídricos, y la mayoría de estos países han promulgado una ley general del agua para regular la gestión de los recursos hídricos y el saneamiento. Aunque las normativas relacionadas con la gestión de las aguas residuales varían de un país a otro, todas tienen por objeto salvaguardar la salud pública y el ambiente. Cada país tiene normas específicas para gestionar y reutilizar las aguas residuales, con reglamentos que establecen umbrales de calidad del agua permitidos para diferentes situaciones, como el vertido en cuerpos de agua, zonas costeras y sistemas de alcantarillado sanitario, así como la reutilización de las aguas

residuales tratadas. En esta sección se comparan los parámetros de calidad establecidos por ocho países: Argentina, Chile, Brasil, Ecuador, México, Perú, Honduras y República Dominicana. En la sección 2.3.2. se comparan y analizan las diferentes normativas para los parámetros de vertido.

La Tabla A- 1 del Anexo 1 ofrece una visión global del marco legislativo para la gestión de las aguas residuales en la región de ALC y enumera las principales instituciones que regulan las aguas residuales, la legislación y las normas clave de cada país y los enlaces en línea correspondientes.

2.3.2 VERTIDO DIRECTO A CUERPOS DE AGUA SUPERFICIALES

La Tabla 1 ilustra que en todos los países existen normativas para los parámetros de vertido de aguas residuales, pero hay variaciones en la forma de establecer estos valores.

En el caso de Argentina, los valores de vertido permitidos se especifican en la Tabla 1, pero también se autorizan valores temporales cuando un parámetro supera la concentración permitida. Estos valores temporales se calculan utilizando determinados valores guía de los cursos de agua establecidos en el Decreto 674/89. Chile permite a las entidades emisoras aumentar las concentraciones umbrales establecidas en la tabla aprovechando la capacidad de dilución del cuerpo receptor, siguiendo una metodología estandarizada. En Brasil, se permiten excepciones a los parámetros definidos en la tabla si se ajustan a lo obtenido en una evaluación de riesgos del cuerpo receptor y si cumplen objetivos de mejora progresiva. Honduras aprobó recientemente una ley en 2021 que introdujo un proceso de vertido progresivo, que considera la calidad del agua receptora, la tecnología disponible y las capacidades de

eliminación como un enfoque basado en el riesgo. Por lo que respecta a República Dominicana, los valores presentados en el Tabla 1 se aplican a las industrias en general. Sin embargo, también existen valores específicos que regulan actividades como la producción de azúcar, la fabricación de gaseosas, el procesamiento de café, las cervecerías, las destilerías, la ganadería lechera y los mataderos de animales. En Ecuador se utiliza una metodología de balance de masas para calcular los límites de vertido, incorporando la calidad del cuerpo de agua y la carga contaminante. Los parámetros presentados en la Tabla 1 se utilizan cuando

no se encuentra disponible información sobre el cuerpo receptor. Perú estableció en 2017 la “Guía para la Determinación de la Zona de Mezcla y la Evaluación del Impacto de la Descarga de Aguas Residuales Tratadas a un Cuerpo Receptor Natural”, que sirve de base para el cálculo de los parámetros de descarga de aguas residuales tratadas al cuerpo receptor.

En general, una tendencia evidente es el avance hacia la aplicación de una zona de mezcla y la evaluación del impacto de la descarga, como se observa en la reciente legislación introducida por Honduras

y las directrices establecidas por Perú. Además, la mayoría de los países de la región aplican normativas tan estrictas como las recomendadas en las Guías generales sobre ambiente, salud y seguridad del GBM para parámetros como los valores de DBO, DQO y pH. Sin embargo, todavía hay margen de mejora en algunas áreas, particularmente en la regulación de la concentración máxima de coliformes totales y otros parámetros como las concentraciones de GyA, SST, N y P, que tienen regulaciones menos estrictas en algunos países como Brasil, Chile, Ecuador y Honduras y México, en comparación con otros de la región.

TABLA 1 Comparación de los límites de vertido de efluentes en cuerpos de agua para parámetros de calidad en los países de ALC

País	Tipo de establecimiento	Las normas incluyen evaluaciones de riesgos u otras condiciones especiales para determinar los parámetros	Parámetros							
			DOB (mg/L)	DQO (mg/L)	SST (mg/L)	pH	GyA (mg/L)	N (mg/L)	P (mg/L)	Coliformes totales (MPN/100 mL)
Argentina	Aguas industriales y especiales ¹	Calidad del cuerpo de agua	50	N.R.	N.R.	5,5-10	N.R.	N.R.	N.R.	5000
Brasil	General	Evaluación de riesgo	60% ²	N.R.	N.R.	5-9	50	20	³	N.R.
Chile	General	Capacidad de dilución del cuerpo de agua.	35	N.R.	80	6-8,5	20	50	10	1000
Ecuador	General ⁴	Valores guía de la calidad de los cuerpos de agua	100	200	130	6-9	30	50	10	2000
Honduras	General	Evaluación de riesgo	100	200	100	6-9	10	30	5	5000
México	General	Evaluación de riesgo solo para DBO	Evaluación de riesgo	150	60	6-9	15	25	15	250 ⁵
Perú	Cervecerías ⁷	Evaluación de riesgo	30	50	30	6-9	3	N.R.	N.R.	N.R.
República Dominicana	General	Calidad del cuerpo del agua	50	250	50	6-9	10	10 (N-NH4)	2	1000
Guías generales EHS del GBM	Agroindustria	Valores estándares	50	250	50	6-9	10	10	2	400

Tabla A –1 El anexo 1 proporciona una visión general integral del marco legislativo para la gestión de aguas residuales en la región de LAC. Enumera

las principales instituciones que regulan las aguas residuales, la legislación y normas clave de cada país, y los enlaces en línea correspondientes.

¹ La norma regula los vertidos sobre los ríos: Luján, Tigre, Matanza, Riachuelo, Río de la Plata, Reconquista y afluentes.
² El DBO debe reducirse al 60% de la concentración del DBO del agua de entrada de la PTAR.
³ Definido a partir de los datos históricos de concentración de cianobacterias.
⁴ Los parámetros indicados son los utilizados cuando no se dispone de información sobre el cuerpo de agua.
⁵ Se refiere a la concentración de E. Coli.
⁶ No existen parámetros para los efluentes industriales generales; el Decreto n° 003-2010-MINAM sólo regula los vertidos municipales o domésticos.
⁷ Se utilizaron valores de referencia generales para los vertidos de aguas residuales procedentes de cualquier fuente. El reglamento también contiene valores para algunas industrias específicas. Se han utilizado valores de referencia generales para los vertidos de aguas residuales procedentes de cualquier fuente. El reglamento también tiene valores para otras industrias específicas, como la metalurgia.

2.3.3 VERTIDO A ZONAS COSTERAS O EN EL MAR

La **Tabla 2** presenta un resumen comparativo de los valores máximos de los parámetros de vertido de efluentes en zonas costeras o en el mar. Chile, México, República Dominicana y Ecuador son algunos de los países que han establecido parámetros que regulan este tipo de vertido. Cabe destacar que tanto en Chile como en República Dominicana los valores de los parámetros varían en función del uso previsto de la zona costera donde se vierte el efluente. Por otra parte, Brasil, Honduras y Perú han implementado una metodología de evaluación de riesgos para determinar los parámetros de calidad en función de las características de la zona costera. Se recomienda adoptar un enfoque de evaluación de riesgos para los países que carecen de normativa, como se explica con más detalle en la Sección 6.

TABLA 2 Comparación de los límites de vertido de efluentes en zonas costeras para parámetros de calidad en los países de ALC

País	Las normas incluyen evaluaciones de riesgos u otras condiciones especiales para determinar los parámetros	Parámetros								
		DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	SSed (mg/L)	SST (mg/L)	pH	GyA (mg/L)	N (mg/L)	P (mg/L)	Coliformes totales (MPN/100 mL)
Argentina	No regulado	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.
Brasil	Evaluación de riesgo	R.B.	R.B.	R.B.	R.B.	R.B.	R.B.	R.B.	R.B.	R.B.
Chile	Depende del uso de la zona costera ⁹	60	N.R.	5	100	6-9	20	50	5	1000 - 70 ⁹
	Depende del uso de la zona costera ¹⁰	N.R.	N.R.	20	300	5,5-9	150	N.R.	N.R.	N.R.
Ecuador	Depende del uso de la zona costera ¹¹	200	400	N.R.	250	6-9	30	40	N.R.	2000
	Depende del uso de la zona costera ¹²	400	600	N.R.	250	6-9	30	40	N.R.	2000
Honduras ¹³	Evaluación de riesgo	R.B.	R.B.	R.B.	R.B.	R.B.	R.B.	R.B.	R.B.	R.B.
México ¹⁴	Evaluación de riesgo solo para el valor de DBO	R.B.	85	N.R.	20	6-9	15	25	15	250
Perú	Evaluación de riesgo	R.B.	R.B.	R.B.	R.B.	R.B.	R.B.	R.B.	R.B.	R.B.
República Dominicana	Depende del uso de la zona costera ¹⁵	60	350	1	75	6-9	15	40	8	N.R.
	Depende del uso de la zona costera ¹⁶	200	350	2	200	6-9	25	N.R.	10	N.R.

2.3.4 VERTIDO AL ALCANTARILLADO SANITARIO

En el caso de la descarga a alcantarillas sanitarias, la mayoría de los países tienen regulaciones que especifican los parámetros de descarga. Sin embargo, parámetros específicos como la DQO y los coliformes totales siguen sin estar regulados en países como Argentina, Chile y México, como se muestra en la Tabla 3. Las regulaciones en Brasil ordenan que, en ausencia de legislación

específica o directrices del operador del sistema de recolección y tratamiento de aguas residuales, la descarga indirecta de efluentes en el cuerpo receptor debe cumplir con los límites de descarga directa. Por otro lado, Perú implementó una regulación en 2019 que establece parámetros clave de concentración máxima para las descargas de aguas residuales no domésticas en los sistemas de alcantarillado sanitario. En Honduras, el administrador de la planta de tratamiento de aguas residuales es responsable de determinar los valores de los parámetros.

⁸ Discharges through submarine outfalls.

⁹ In areas suitable for aquaculture and areas of management and exploitation of benthic resources, a value of 70 NMP/100 mL should not be exceeded.

¹⁰ Discharges through submarine outfalls.

¹¹ Discharges in the area of marine breakers.

¹² Discharges through submarine outfalls.

¹³ They are contemplated within the risk assessment guide using the criteria based on water quality and the best available technology.

¹⁴ The values shown are monthly averages. The daily average and instantaneous values are also regulated and vary depending on the parameter.

¹⁵ Discharges in coastal waters intended for the conservation of natural resources such as mangroves and reproduction and nutrition areas for marine organisms and areas for marine aquaculture, including mollusks, crustaceans, fishes, and commercial fishing.

¹⁶ Discharges in coastal waters used for industrial activities, shipping activities, and ports.

TABLA 3 Comparación de los límites de vertido de efluentes en los sistemas de alcantarillado sanitario de los países de ALC

País	Sector	Parámetros								
		DOB (mg/L)	DQO (mg/L)	SSed (mg/L)	SST (mg/L)	pH	GyA (mg/L)	N (mg/L)	P (mg/L)	Coliformes Totales (MPN/100 mL)
Argentina	Industrial	200	N.R.	0	N.R.	5,5-10	N.R.	N.R.	N.R.	5000
Brasil ¹⁷	General	60%	N.R.	N.R.	5-9	50	20	N.R.	N.R.	60%
Chile	Industrial	300	N.R.	20	300	5,5-9	150	80	10-15	N.R.
Ecuador	General	250	500	20	220	6-9	70	60	15	N.R.
Honduras	General	18	18	18	18	5-9	18	18	18	18
México ¹⁸	General	N.R.	N.R.	5	N.R.	5,5-10	50	N.R.	N.R.	N.R.
Perú	Industrial	500	1000	8.5	500	6-9	100	80	N.R.	N.R.
República Dominicana	Industrial	250	600	N.R.	400	6-9	N.R.	40	10	N.R.

2.3.5 REÚSO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS PARA RIEGO, FERTIRRIGACIÓN O INFILTRACIÓN

Debido a sus recursos hídricos comparativamente abundantes en comparación con otras regiones del mundo, la zona de ALC ha dado menos prioridad a la promoción de la reutilización del agua (Wellestein y Makino, 2022). Esta región tiene una deficiencia normativa o directivas ambiguas en relación con el uso de aguas residuales para fertirrigación y otros fines más amplios de reutilización del agua.

La Tabla 4 presenta una visión general de las distintas posturas nacionales en materia de reutilización de aguas residuales tratadas. Por ejemplo, países como Argentina, Chile y República Dominicana carecen de normativas específicas sobre este tema. Por otro lado, Brasil permite el uso de efluentes industriales no tratados para fertirrigación previa aprobación de una agencia medioambiental competente. A diferencia, en Ecuador, algunos parámetros de calidad del agua para riego y uso agrícola, como el oxígeno disuelto (OD), los metales y las sales, están sujetos a normativas específicas, aunque la mayoría de los parámetros de la tabla quedan fuera de la norma. La normativa de Honduras se refiere únicamente al riego de la caña de azúcar, mientras que la de México describe las posibilidades de reutilización para la infiltración y el riego de cultivos. En Perú, la evaluación de la reutilización de las aguas residuales tratadas depende de que las autoridades tengan en

cuenta valores específicos del sector o las directrices sanitarias establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en 1989.

Si bien existe un amplio consenso sobre las razones que justifican el uso de aguas residuales en la agricultura desde el punto de vista agronómico, económico y de la sostenibilidad, es fundamental reconocer que las aguas residuales poseen cualidades únicas que pueden dar lugar a problemas medioambientales y sanitarios. La viabilidad de sustituir las fuentes de agua convencionales u otras no convencionales para la fertirrigación con aguas residuales depende en gran medida de que los riesgos para la salud y las consecuencias medioambientales asociados se mantengan dentro de límites aceptables (FAO, 1992). Se recomienda que todas las actividades que impliquen la fertirrigación o la reutilización del agua se supervisen mediante **una evaluación de riesgos específica para cada lugar**, que debe considerar una serie de factores, como la composición de las aguas residuales, los posibles contaminantes, el ecosistema local y las interacciones

hidrogeológicas, así como las posibles vías de exposición. En la Sección 6 se detallan los principales puntos que deben tenerse en cuenta a la hora de decidir si se lleva a cabo una evaluación de riesgos específica del emplazamiento para el riego, la fertirrigación o la infiltración, así como la forma de llevarla a cabo.

Es esencial tener en cuenta ciertos criterios cuando se contempla el uso de aguas residuales para el riego, la fertirrigación o la infiltración. Estos criterios abarcan parámetros de las aguas residuales como la conductividad eléctrica, las concentraciones de iones de sodio, calcio y magnesio, los niveles de pH, los sólidos en suspensión, la DBO₅ (Demanda Biologica de Oxígeno), las bacterias patógenas, así como los niveles de nitrógeno, fósforo y metales pesados. En la Sección 6.2.4 se ofrece una explicación más detallada del razonamiento que subyace a estas consideraciones. Además, se aconseja consultar los umbrales prescritos señalados en las tablas A-3.1, A-3.2 y A-3.3 para obtener más información.

TABLA 4 Comparación de los límites de vertido de efluentes para la reutilización de aguas residuales tratadas mediante riego, fertirrigación o infiltración en los países de ALC

País	Parámetros								
	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	SSed (mg/L)	SST (mg/L)	pH	GyA (mg/L)	N (mg/L)	P (mg/L)	Coliformes totales (MPN/100 mL)
Brasil ²⁰	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	5-9	20 or 50 ²¹	N.R.	N.R.	1000/10000 ²²
Ecuador	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	6-9	absent	N.R.	N.R.	1000
Honduras ²³	500	1000	20	300	6-9	10	30	N.R.	N.R.
México ²⁴	R.B.	150	N.R.	100	6-9	15	N.R.	N.R.	250 ²⁵

²⁰ The resolution does not apply to effluents from tanneries and industries producing ethanol, sugar and liquor. It allows the reuse of industrial effluents that have not passed through stabilization processes for fertigation, as long as the competent environmental agency authorizes it.

²¹ FOGs are 20 mg/l for vegetable oils and 50 mg/l for animal fats.

²² E. Coli. 1000 UFC for irrigation in human consumption crops and 10000 UFC for other pastures or cultures.

²³ For irrigation of sugar mill wastewater in areas cultivated with sugarcane. The value corresponds to the concentration of E. Coli.

²⁴ Data for irrigation that is not for green areas. The values presented correspond to the monthly average values. Daily average values and instantaneous values are also regulated.

²⁵ The value corresponds to the concentration of E. Coli.

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



3.1 MEJORES PRÁCTICAS DE GESTIÓN DE AGUAS RESIDUALES

El enfoque de las Mejores Prácticas de Gestión (MPG), desarrollado y establecido por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), consiste en una serie de prácticas o medidas industriales para evitar que sustancias tóxicas o peligrosas lleguen al ambiente (US EPA, 1993). El concepto se describe del siguiente modo:

MEJORES relacionado con las técnicas

Lo más eficaz disponible para lograr un alto nivel de protección del ambiente.

PRÁCTICAS' relacionadas con métodos de trabajo o innovaciones

Condiciones económicas y técnicas viables teniendo considerando los costos y las ventajas de la implementación.

GESTIÓN relacionada con las tareas

Medios eficaces y viables (incluidas consideraciones tecnológicas, económicas e institucionales) para prevenir o reducir la contaminación.

Las Mejores Prácticas de Gestión de Aguas Residuales (MPGAR) son formuladas específicamente para la gestión de aguas residuales y dirigidas a reducir los contaminantes vertidos de un efluente que entra en una masa de agua. Las MPGAR más comunes incluyen prácticas de limpieza, planes de mantenimiento, reducción del consumo de agua y mejoras de la calidad, monitoreo de las aguas residuales y mejoras del tratamiento (OCETA, 2005). Las MPGAR pueden clasificarse en dos grandes grupos:

MPGAR para la prevención de la contaminación (Sección 4 de esta NBP).

MPGAR para el tratamiento de aguas residuales (Sección 5 de esta NBP).

Ambos MPGAR son específicos para cada sitio y se formulan en función del mismo, del proceso y de los contaminantes específicos de las aguas residuales.

Los sectores de la Agroindustria y el Procesamiento de Alimentos se benefician de la implementación del enfoque de las MPGAR debido a la dificultad de alcanzar sistemáticamente los parámetros de vertido de aguas residuales y a sus procesos altamente variables y exigentes del agua.

3.2 GESTIÓN Y RESPONSABILIDADES DE LAS MPGAR

3.2.1 COMPROMISO Y ESTRUCTURA DE GESTIÓN PARA MEJORAR LAS MPGAR

Compromiso y responsabilidad

La implementación de las MPGAR para la prevención de la contaminación y de la gestión de las aguas residuales depende del compromiso expreso de la alta dirección de mejorar las prácticas del consumo de agua y la calidad de los efluentes para cumplir la normativa o cualquier otra norma aplicable.

La gestión y la rendición de cuentas de las MPGAR son esenciales para una gestión eficaz y sostenible de las aguas residuales. Las medidas de rendición de cuentas -tales como la presentación de informes a las principales partes interesadas- pueden contribuir a promover la transparencia y generar confianza, mejorando la percepción pública y apoyando las prácticas de gestión de las aguas residuales.

La responsabilidad de aplicar las MPGAR recae en las distintas partes interesadas que están involucradas en la gestión de las aguas residuales. A continuación, se describen algunas de las principales partes interesadas internas que deben tenerse en cuenta a la hora de establecer un plan de MPGAR:

RESPONSABLES O GESTORES EHS

Los responsables o gestores de ambiente, salud y seguridad (EHS, por sus siglas en inglés) supervisan el cumplimiento de la normativa y promueven prácticas de trabajo seguras. Los responsables de EHS se aseguran de que el plan de MPGAR cumpla con todas las regulaciones, políticas u otras normas ambientales aplicables. Además, son el contacto directo para informar del rendimiento y desarrollo del plan y de posibles incumplimientos a las partes interesadas.

GERENTES DEL SITIO

Los gerentes de sitio son responsables de gestionar las operaciones diarias de sus instalaciones. En la gestión de las aguas residuales, los gerentes del sitio son responsables de garantizar que el plan de gestión de aguas residuales en sus instalaciones está siendo implementada, proporcionar recursos y apoyo a los empleados para garantizar el cumplimiento del plan e identificar y abordar los problemas relacionados con la gestión de las aguas residuales en sus instalaciones con los gestores y coordinadores de EHS.

COORDINADORES EHS

Los coordinadores EHS son responsables de coordinar la implementación de los procedimientos dentro de la organización. En el contexto de la gestión de las aguas residuales, los coordinadores de EHS son responsables de aplicar el plan de gestión dentro de su ámbito de responsabilidad, desarrollar y brindar entrenamiento a los empleados sobre prácticas seguras y responsables sobre la gestión de las aguas residuales, ofrecer orientación y apoyo a los empleados sobre la correcta manipulación y eliminación de las aguas residuales. Además, organizar el monitoreo, los estudios de evaluación de riesgos y los informes necesarios para garantizar el cumplimiento de dicho plan.

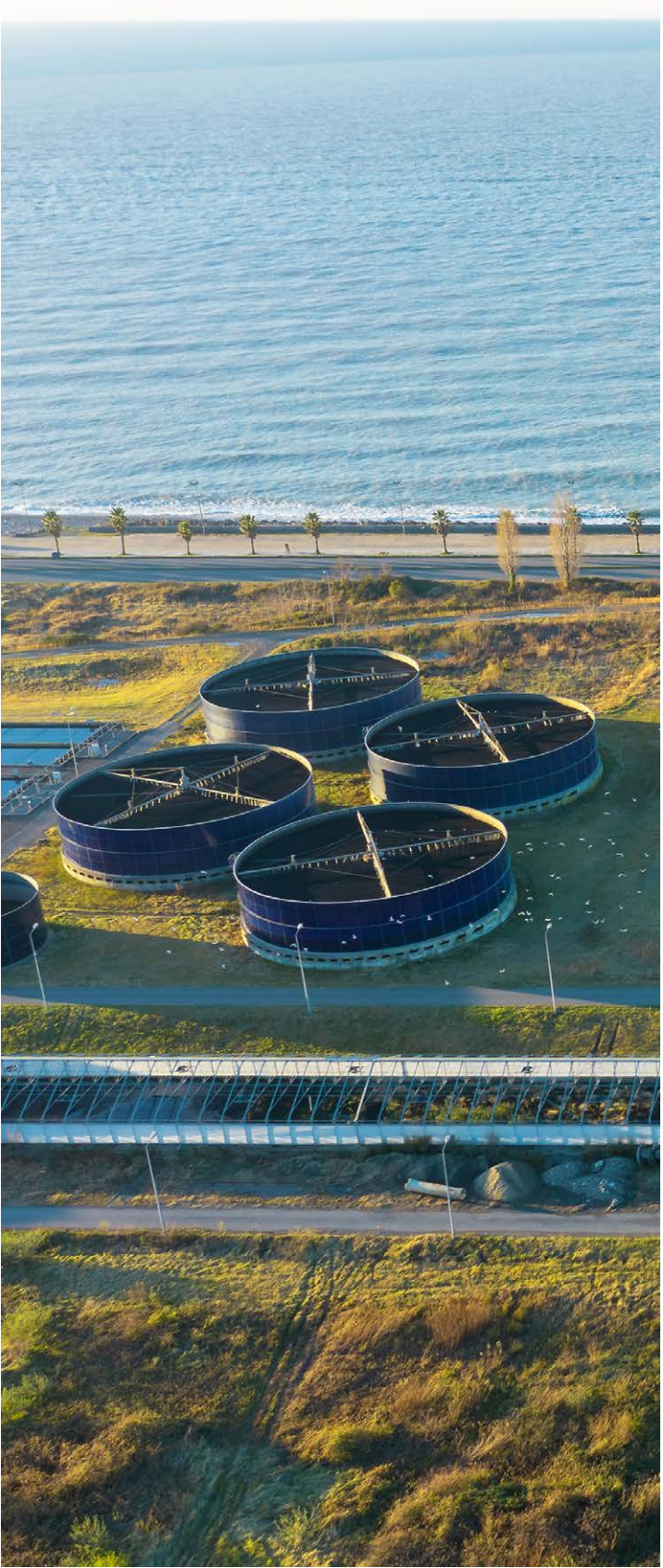
PERSONAL DE LA PTAR

El personal de la PTAR opera y mantiene las plantas de tratamiento de aguas residuales de acuerdo con los manuales y procedimientos establecidos. Entre otras tareas, monitorean diariamente y mantienen los equipos utilizados para el tratamiento de las aguas residuales. Además, los operarios informan de cualquier problema o desviación de los manuales o procedimientos establecidos a los gerentes del sitio o a los coordinadores de EHS.

3.2.2 IMPORTANCIA DE UN PLAN DE MPGAR PARA LA PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

Los planes de MPGAR deberían incorporarse al plan integral en sitio o instalación con el objetivo de maximizar su efectividad. Para ello, el primer paso debería consistir en desarrollar un plan de MPGAR de prevención de la contaminación específico para el sitio (como se describe en la Sección 4.2), que incluya una evaluación inicial y la implementación continua de medidas y oportunidades para abordar las posibles fuentes de contaminación en el lugar.

Este paso inicial es fundamental, ya que identifica y mitiga las posibles fuentes de contaminación, lo que permite abordar eficazmente todos los aspectos de la implementación y gestión de la tecnología de tratamiento de aguas residuales. Mediante la aplicación de un plan de MPGAR eficaz en las instalaciones, las organizaciones pueden minimizar su impacto ambiental, cumplir la normativa y mejorar su reputación como entidades responsables y sostenibles.



3.3 PRINCIPALES BARRERAS PARA LA ADOPCIÓN DE MPGAR

Cuando se aborda el eficacia de las agroindustrias en relación con las aguas residuales, es importante reconocer que la mayoría de sus procesos son intrincados y polifacéticos y, por lo tanto, pueden surgir dificultades al intentar implementar prácticas de gestión óptimas. Es esencial comprender estos obstáculos para determinar estrategias eficaces para abordarlos y promover una cultura de mejora continua. Muchos de los obstáculos técnicos se abordan en este documento; sin embargo, otros obstáculos no son técnicos. En esta sección se resumen los retos y obstáculos típicos a los que se enfrenta la agroindustria.

- ◆ **Conciencia y visión:** Las compañías tienen la oportunidad de descubrir las numerosas ventajas de adoptar las mejores prácticas. La implementación de prácticas ambientales puede convertirse en una oportunidad empresarial estratégica, que conduzca a un aumento de la rentabilidad, la gestion de pasivos legales, la mejora del acceso al financiamiento y la minimización de los riesgos. Es esencial reconocer que incluso las compañías más pequeñas pueden cosechar los frutos de tales prácticas si se tiene la noción de que las oportunidades de ahorro de costos no son exclusivas de las grandes empresas.
- ◆ **Optimización del tiempo y los recursos humanos:** Las empresas de la agroindustria buscan continuamente oportunidades para mejorar sus operaciones y su eficiencia. Aunque la alta dirección se centra en la supervivencia y el crecimiento del negocio a corto plazo, también explora activamente formas de mejorar los procesos. Las prioridades de la ingeniería de planta se centran en la producción, buscando prácticas más eficientes. Aunque los recursos humanos pueden ser limitados, la empresa se

mantiene dedicada a superar los retos, pero todos estos factores agravan las dificultades para implantar las mejores prácticas.

- ◆ **Conocimientos técnicos y experiencia:** En las agroindustrias, existen oportunidades de mejorar los conocimientos y la experiencia para implementar las mejores prácticas. A veces, las empresas pueden ser conscientes de las oportunidades potenciales, pero carecen de los conocimientos técnicos o los recursos de ingeniería necesarios para llevar a cabo una evaluación exhaustiva que permita identificar, priorizar e implementar las mejores prácticas.
- ◆ **Recursos financieros:** Las agroindustrias se enfrentan a menudo a dificultades a la hora de buscar financiamiento interno y capital para llevar a cabo proyectos de mejores prácticas. Aunque la mayor parte del capital disponible se destina a la producción, la ampliación de las instalaciones y la comercialización, las empresas están explorando vías para asignar fondos a otras iniciativas importantes. Incluso en el caso de empresas bien gestionadas con un flujo de caja adecuado para respaldar las inversiones en mejores prácticas, hay que hacer un esfuerzo para concienciar y animar a los altos responsables financieros a dar prioridad a estos proyectos. Reducir aún más la brecha entre la dirección de la planta y las finanzas es un objetivo clave para conseguir apoyo hacia las inversiones destinadas a mejorar el comportamiento medioambiental.
- ◆ **Información pertinente y redes de apoyo:** Las empresas suelen carecer de información sobre las ventajas financieras y operativas de implementar las mejores prácticas en la agroindustria. Se requieren estudios de casos prácticos que demuestren cómo pueden aplicarse esas mejoras a sus operaciones y que cuantifiquen los beneficios. Con la disponibilidad de tales ejemplos, las empresas pueden evaluar con confianza el valor potencial y adoptar la aplicación de las mejores prácticas, lo que conduce a un mayor éxito y crecimiento.



4

MPGAR para la Prevención de la Contaminación



4.1. ¿QUÉ ABARCAN LAS MPGAR PARA LA PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN Y CUÁLES SON SUS BENEFICIOS?

Evitar que los contaminantes entren en una planta de tratamiento suele ser menos costoso que tratar el agua una vez contaminada. Las definiciones y ejemplos de las secciones siguientes deberían fomentar la prevención de la contaminación en su origen. En general, las MPGAR de prevención de la contaminación abarcan:

REDUCIR EL USO TOTAL DE AGUA:

La reducción de la generación de aguas residuales puede lograrse siguiendo una jerarquía que consiste en reducir el volumen de aguas residuales, reciclar el agua dentro del proceso operativo y reutilizar las aguas residuales tratadas mediante mecanismos controlados y sostenibles. Para reducir el uso de agua, las organizaciones pueden adoptar prácticas como minimizar el transporte húmedo y explorar opciones viables de transporte mecánico. El reciclado del agua puede conseguirse utilizando condensados en lugar de agua dulce para las actividades de limpieza o reciclando el agua de limpieza, entre otras opciones.

MODIFICACIONES DE PROCESOS Y EQUIPOS

Estas prácticas están vinculadas a las estrategias y políticas de las organizaciones para invertir en nuevas tecnologías, por lo que requieren una mayor inversión de capital. Ejemplos de estas prácticas incluyen la modificación de los equipos de proceso para reducir el consumo de agua mediante la adaptación de boquillas pulverizadoras o la sustitución de depósitos abiertos por sistemas de circuito cerrado que reciclan el agua. Otro ejemplo es el uso de sistemas de limpieza in situ (LIS) para limpiar los equipos sin necesidad de grandes volúmenes de agua. Además, las organizaciones pueden adoptar equipos de control automático, como electroválvulas, para detener el flujo de agua cuando el equipo no está en uso e instalar caudalímetros para controlar el consumo de agua.

OPERATIVAS Y DE MANTENIMIENTO

Estas prácticas requieren poca inversión de capital y son relativamente fáciles de implementar. Pueden incluir la revisión periódica de los procedimientos operativos, realizar modificaciones en los procesos, la formación continua de los empleados, la mejora de las inspecciones, el desarrollo de prácticas de prevención del mantenimiento y la sustitución de equipos sencillos. Ejemplos de estas prácticas son el control de la calidad y el caudal de las aguas residuales, la implementación de programas de mantenimiento y limpieza periódicos de equipos y tuberías, y la eliminación adecuada de materiales peligrosos residuales. Otros ejemplos son el uso de productos de limpieza biodegradables y la prevención del vertido de materiales no biodegradables en drenajes e inodoros.

- Entre los beneficios de la implementación de las MPGAR para la prevención de la contaminación se incluyen los siguientes (OCETA, 2005):
- Reforzar el crecimiento económico mediante una producción más eficiente.
 - Reducir los costos financieros mejorando la gestión y el mantenimiento.
 - Reducir el consumo total de agua.
 - Reducir el vertido de contaminantes en el efluente final, haciendo que el cumplimiento sea más consistente.
 - Reducir la generación de residuos y sus costos de eliminación.
 - Mejorar las condiciones de trabajo.
 - Implementar medidas para reducir la demanda de los sistemas de tratamiento existentes y optimizar la capacidad de los equipos existentes.

clave. El compromiso de la dirección es fundamental para aplicar con éxito el plan, ya que marca la pauta de la organización y ayuda a proporcionar los recursos y el apoyo necesarios.

Otro aspecto clave de la implementación de las MPGAR de prevención de la contaminación es el establecimiento de metas y objetivos claros. Éstos deben ser medibles y específicos y estar alineados con la estrategia de sostenibilidad de la organización. También es importante monitorear e informar periódicamente de los avances realizados hacia estos objetivos, ya que permite realizar ajustes para garantizar que el plan sigue por el buen camino.

Las organizaciones deben considerar el uso de incentivos y programas de reconocimiento para animar a los empleados a adoptar prácticas sostenibles y contribuir al éxito del plan.

4.2 IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN DE MPGAR PARA LA PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

4.2.1 IMPORTANCIA DEL COMPROMISO DE LA DIRECCIÓN Y OTROS ASPECTOS CLAVE DE LA IMPLEMENTACIÓN

Según lo descrito en la Sección 3.2, la implementación de un plan de MPGAR de prevención de la contaminación requiere un fuerte compromiso por parte de la dirección y de otras partes interesadas

4.2.2 ETAPAS PARA LA ELABORACIÓN DE UN PLAN DE LAS MPGAR PARA LA PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN

PASO 1 Hacer un balance hídrico

Como se muestra en la Figura 1, el primer paso para elaborar un plan de MPGAR de prevención de la contaminación es desarrollar un balance hídrico, lo que requiere un diagrama de flujo de procesos actualizado. Este diagrama debe identificar todas las rutas de flujo y el uso del agua en cada paso, incluyendo todas las entradas de agua y mostrar explícitamente dónde se generan las aguas residuales. Deben identificarse los datos sub-medidos disponibles de todas las fuentes de agua para ayudar a cuantificar los usos.

Cada uno de los flujos del balance hídrico debe tener un programa de monitorización que ayude a controlar los caudales. Si hay algunos puntos en el sistema de agua en los que no resulta práctico monitorear los caudales, éstos pueden estimarse mediante cálculos de balance de masas. El método volumétrico es un método válido para hacer una estimación rápida y aproximada del caudal de los equipos, aunque es importante prestar atención a las tuberías que están conectadas a los desagües del suelo, ya que esto puede alterar las mediciones.

MÉTODO VOLUMÉTRICO

Utilice un recipiente de volumen conocido, como un recipiente o un vaso de precipitados. En primer lugar, llénelo con agua de la fuente que desee medir. En segundo lugar, mida el tiempo que tarda en llenarse completamente el recipiente. Una vez que tenga ese tiempo y el volumen del recipiente, podrá calcular el caudal de agua. El caudal es la cantidad de agua que pasa por un punto concreto en un tiempo determinado. Para calcularlo, divida el volumen de agua del recipiente por el tiempo que se ha tardado en llenarlo:

$$\text{CAUDAL} = \text{VOLUMEN DE AGUA} / \text{TIEMPO}$$

A la hora de desarrollar un programa de control, debe tenerse en cuenta la influencia de los horarios de producción y los turnos de limpieza. También se recomienda monitorear el consumo de agua fuera de los periodos de producción para identificar fugas de agua. Deben controlarse los datos sobre el agua para interpretar las tendencias de consumo relacionadas con la producción y las fluctuaciones estacionales. Para usos finales y agua no medida, deben elaborarse estimaciones del uso del agua a partir de la capacidad de los equipos o del conocimiento de los procesos.

El balance hídrico completo debe presentarse en un formato que sea fácil de actualizar con nueva información. Compare la suma del consumo de agua para usos finales (W_{consumo}) con el suministro total de agua ($W_{\text{suministro}}$). La diferencia entre estos dos valores representa las posibles pérdidas en el sistema ($W_{\text{pérdidas}}$). Las pérdidas pueden representar fugas de agua, estimaciones inexactas y errores en las mediciones como contadores mal calibrados.

BALANCE HÍDRICO

$$W_{\text{SUMINISTRO}} - W_{\text{CONSUMO}} = W_{\text{PÉRDIDAS}}$$

PASO 2 Identificar las fuentes de contaminación

Una vez que el balance hídrico esté listo, identifique para cada uno de los caudales de aguas residuales, qué contaminantes están presentes y las fuentes potenciales de cada uno. Esta información debe documentarse en un diagrama de flujo de agua.

Si es posible, deben utilizarse medios analíticos para medir las concentraciones de contaminantes. Los flujos de agua deben caracterizarse en función de su composición física, química y biológica para preparar un balance de masas de contaminantes que pueda integrarse en el balance hídrico global. Este paso es crucial para implementar eficazmente el plan de MPGAR de prevención de la contaminación, ya que permite a las organizaciones identificar las fuentes de contaminantes y tomar las medidas adecuadas para evitar su vertido al ambiente. La información obtenida de este proceso también ayuda a las organizaciones a tomar decisiones informadas sobre la selección de tecnologías de tratamiento adecuadas y la optimización de los procesos de tratamiento de aguas residuales (véase la Sección 5).

PASO **3** Identificar e implementar las actividades operativas y de mantenimiento

Una vez preparados los balances de agua y contaminantes, el siguiente paso consiste en identificar las actividades operativas y de mantenimiento que contribuyen a añadir contaminantes indeseables al sistema de agua. Consulte la Sección 4.3 para ver más ejemplos.

Un buen punto de partida es revisar las fichas de seguridad (SDS por sus siglas en inglés) para conocer la composición química y la información sobre peligrosidad de los productos químicos utilizados en las instalaciones. Los productos químicos adquiridos que puedan contener sustancias tóxicas u otros contaminantes no convencionales pueden sustituirse por sustancias químicas o productos menos peligrosos. Para la implementación, es crucial validar cualquier cambio operativo y de limpieza propuesto con el personal implicado, incluidos los departamentos de producción, control de calidad, mantenimiento y cualquier otra parte interesada. Al implicar a todas las partes interesadas en el proceso, las organizaciones pueden garantizar que los cambios realizados no afectarán negativamente a la calidad del producto ni a la eficacia del proceso.

PASO **4** Identificar e implementar oportunidades de eficiencia en el uso del agua

Debe desarrollarse una estrategia integrada de eficiencia en el uso del agua con objetivos específicos de conservación del agua. Es necesario realizar una evaluación de las instalaciones para identificar los principales procesos que consumen agua y sus características operativas, incluidos el caudal, el estado y el modelo de cada uno de los equipos utilizados. Además, deben evaluarse todas las zonas de la instalación para determinar las oportunidades de reciclaje y reutilización del agua.

Durante la evaluación, deben definirse los requisitos de calidad del agua de cada proceso para determinar el potencial de reutilización del agua. Los métodos de reciclaje deben tener en cuenta el agua tratada y no tratada, y el agua menos contaminada debe mantenerse separada para su posible reutilización después del tratamiento.

PASO **5** Identificar e implementar modificaciones en los procesos y equipos

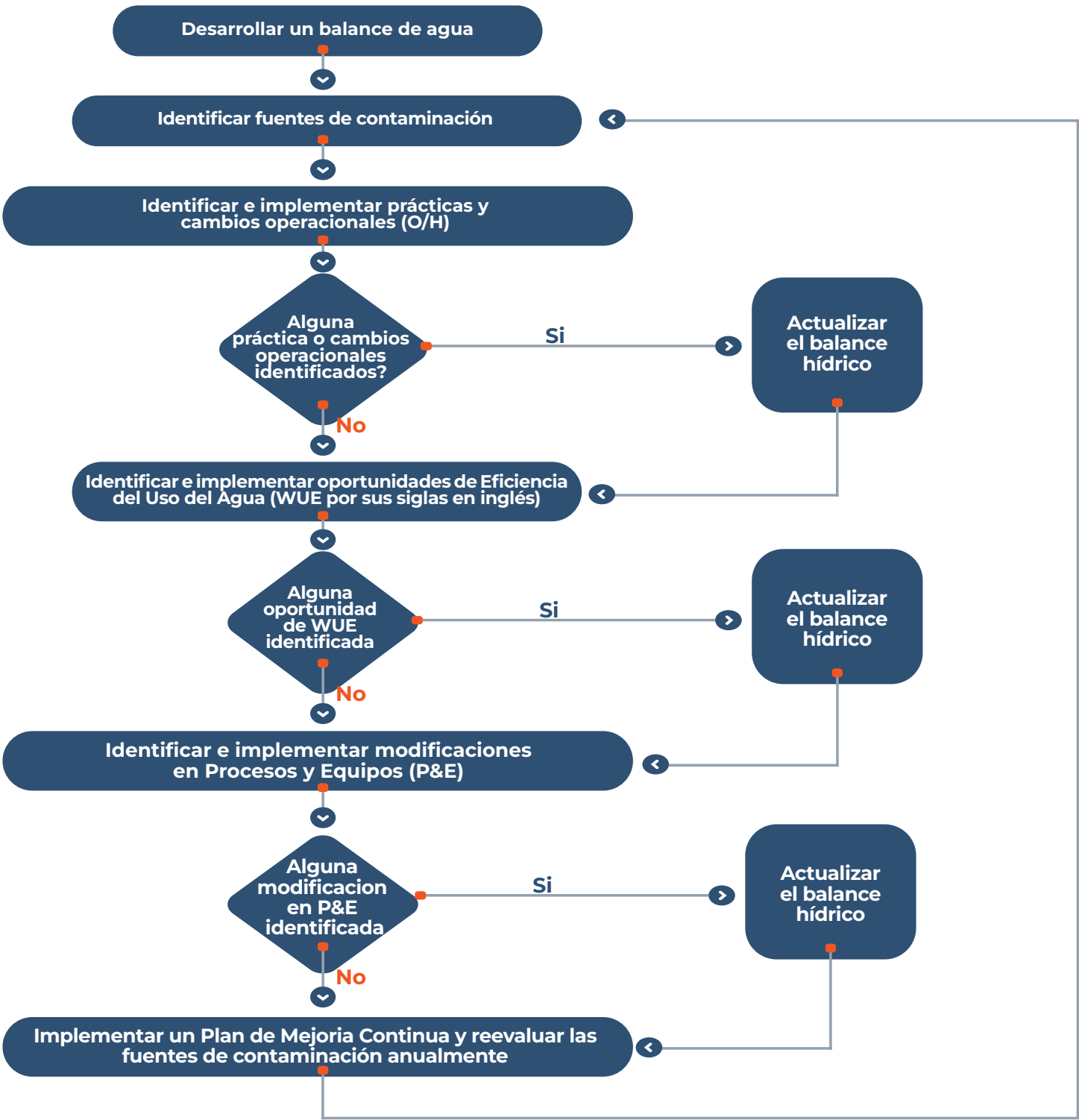
Evalúe el rendimiento de los procesos y equipos existentes para identificar áreas potenciales donde se pueda mejorar la calidad y cantidad de las aguas residuales. Considere la implementación de nuevas tecnologías o la modificación de los equipos existentes para optimizar los procesos y reducir la contaminación.

Debe realizarse un análisis costo-beneficio para evaluar la viabilidad de cada opción considerada. Es importante tener en cuenta el impacto de las modificaciones de procesos y equipos en la eficiencia y productividad generales de la instalación, así como la posibilidad de que aumenten los costes de mantenimiento y funcionamiento. Las modificaciones deben planificarse y gestionarse cuidadosamente para garantizar una transición fácil y unos resultados óptimos.

Ciclo de mejora continua

Un plan de prevención de la contaminación incluye un ciclo de mejora continua iterativo. Las medidas de prevención de la contaminación, como la mejora de las prácticas domésticas y operativas, las estrategias de eficiencia en el uso del agua y las modificaciones de los equipos existentes deben priorizarse y aplicarse de forma iterativa, como se ha visto en los cinco pasos anteriores, antes de poner en marcha nuevos proyectos de capital para el tratamiento de las aguas residuales. Esta implementación interactiva garantizará la optimización de la capacidad de las instalaciones y equipos existentes antes de considerar nuevas inversiones de capital. Si, en cualquier etapa, el proceso indica que es necesario una inversión del capital, la alta dirección debe garantizar la disponibilidad de recursos.

FIGURA 1 Implementación del plan de MPGAR para la prevención de la contaminación (OCETA, 2005).

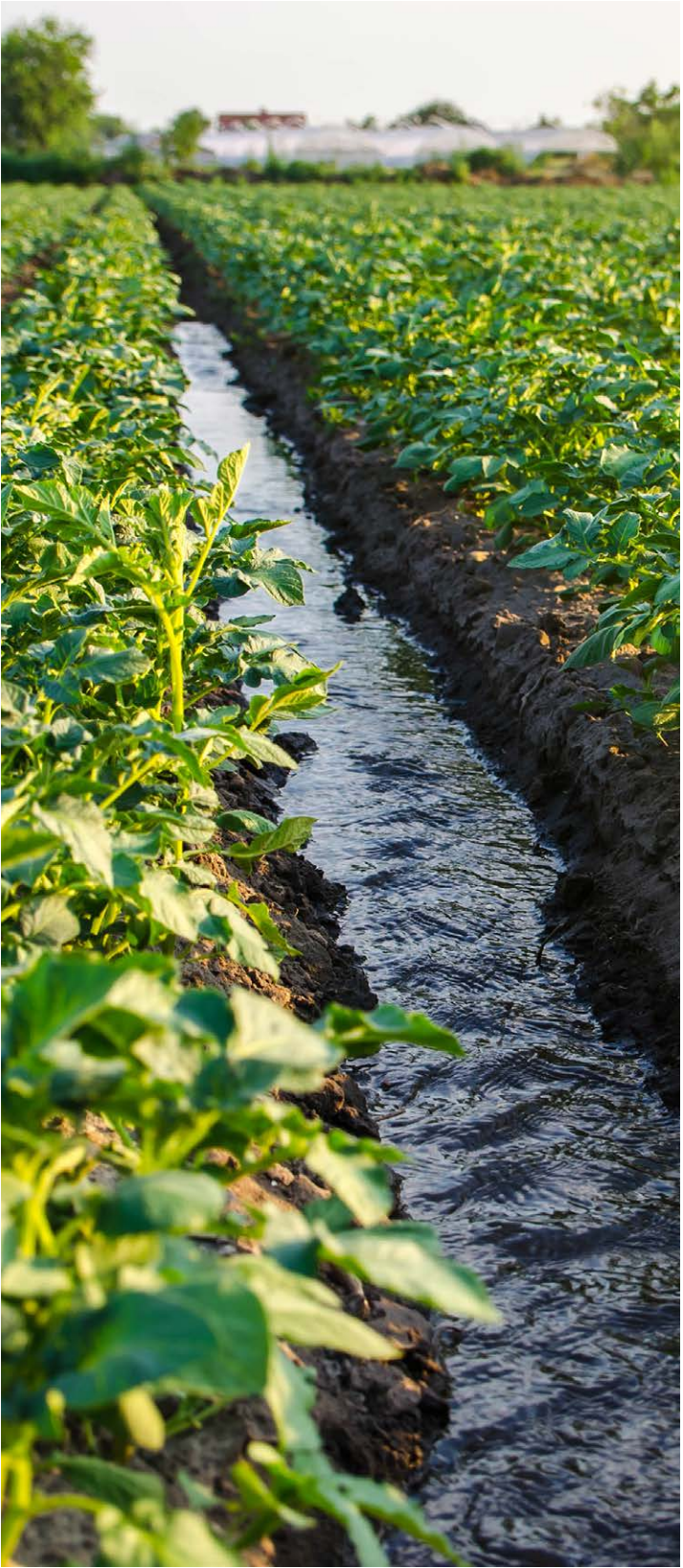


4.3 EJEMPLOS DE MPGAR PARA LA PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN PARA LA AGROINDUSTRIA

4.3.1 PRÓLOGO

Los ejemplos que se presentan a continuación servirán de guía a las industrias para mejorar sus prácticas de gestión sobre la base de los requisitos de la Norma de Desempeño 3, del IFC, las Buenas Prácticas Internacionales de la Industria (GIIP, por sus siglas en inglés) y el Manual de Prevención de la Contaminación del Banco Mundial (Banco Mundial, 1999) y las Guías sobre EHS. Estas MPGAR ofrecen un conjunto voluntario de normas y procedimientos para mejorar la productividad y reducir al mismo tiempo la contaminación de los efluentes, pero no son definitivas. Cada industria debe revisar sus condiciones de trabajo específicas y adaptarse a los cambios necesarios.

Las agroindustrias seleccionadas son la acuicultura (Sección 4.3.2), el procesamiento de productos lácteos (Sección 4.3.3), la industria de alimentos y bebidas (Sección 4.3.4) y el procesamiento de carne (Sección 4.3.5).



4.3.2 ACUICULTURA

PRÁCTICAS OPERATIVAS Y DE LIMPIEZA

- Asegure que el alimento granulado tenga un contenido mínimo de finos o polvo. Las especies acuáticas no consumen los finos y estos añaden nutrientes y cargas orgánicas a las aguas residuales.
- Monitoree la ingesta de alimento para determinar si está siendo totalmente consumido y ajuste las tasas de alimentación en función de la observación en sitio.
- Después de la cosecha, mantenga el agua restante en el estanque durante varios días antes de verterla; esto permitirá que los sólidos se asienten de nuevo.
- Proporcione una zona litoral en el perímetro del estanque para fomentar la vegetación acuática que pueda ayudar a reducir los nutrientes y atrapar los sólidos.
- Limpie las redes y las jaulas manualmente. No utilice productos químicos como antivegetativos, ya que son tóxicos y estables en medios acuáticos. Consulte las fichas de datos de seguridad (SDS) antes de plantearse utilizar un producto químico para la limpieza.
- Se recomienda utilizar alimentos con menor concentración de nitrógeno y fósforo y con mayor digestibilidad para reducir las concentraciones de nutrientes en el efluente.
- Limite la biomasa y la tasa de alimentación en línea con la capacidad de absorción del cuerpo de agua para evitar una acumulación excesiva de nutrientes.

OPORTUNIDADES DE EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA

- Utilice técnicas de drenaje parcial para vaciar un porcentaje de los estanques cosechados, ya que el último 15% del agua del estanque contiene las mayores cantidades de materia orgánica. En caso contrario, reutilice esta agua bombeándola a estanques adyacentes para ayudar a complementar su productividad primaria.

MODIFICACIONES DE PROCESOS Y EQUIPOS

- Utilice sistemas de vertido correctamente diseñados y prevención de la erosión en el punto de vertido para minimizar la concentración de sólidos sedimentables en el efluente.
- Utilice la aireación para mejorar la calidad del agua, ya que aumentará las concentraciones de oxígeno disuelto y evitará la estratificación de los estanques profundos. La oxigenación también minimizará la erosión del suelo del estanque y la turbidez del agua.

4.3.3 PROCESAMIENTO DE PRODUCTOS LÁCTEOS

PRÁCTICAS OPERATIVAS Y DE LIMPIEZA

- Evite la formación de espuma en los productos lácteos fluidos. La espuma contiene altas concentraciones de demanda de oxígeno y sólidos suspendidos totales que afectan a la eficacia del sistema de tratamiento de aguas residuales.
- Utilice juntas adecuadas en las bombas y conexiones de línea apropiadas para evitar la entrada de aire cuando las líneas están bajo un vacío parcial.
- Los derrames de leche y productos pueden restringirse mediante un mantenimiento regular de los accesorios, válvulas y juntas y equipando las llenadoras con dispositivos antigoteo y antiderrame. El material sólido derramado, como la cuajada en la zona de producción de queso y el producto seco derramado en las zonas de producción de leche en polvo, debe recogerse y tratarse como residuo sólido en lugar de tirarse por el desagüe.
- Para la limpieza, utilice productos químicos o detergentes de baja peligrosidad para asegurar un impacto ambiental mínimo.
- Recoger los productos de desecho para utilizarlos en productos de menor calidad, como alimentos para animales cuando sea factible, cumpliendo los estándares de calidad de los alimentos para ganado.
- Los niveles de contaminación también podrían limitarse dejando que las tuberías, los tanques y las cisternas de transporte dispongan de tiempo suficiente para vaciarse antes de enjuagarlos con agua.

OPORTUNIDADES DE EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA

- Reutilice el agua de la ósmosis inversa para lavar el equipo o purgar las líneas, si las hubiera. Esta agua suele utilizarse para el concentrado del suero.
- Segregue los efluentes de las instalaciones sanitarias, de áreas de procesamiento o de procesamiento de los sistemas de refrigeración; facilita el reciclaje de las corrientes de agua y la reutilización de las aguas residuales tratadas.
- Utilice condensados en lugar de agua potable para las actividades de limpieza, cumpla las normas de agua potable donde pueda haber contacto con alimentos y personas.

MODIFICACIONES DE PROCESOS Y EQUIPOS

- Instale rejillas y tamices en las instalaciones para evitar la introducción de sólidos gruesos y materiales en el sistema de tuberías de aguas residuales.
- Adopte métodos de mejores prácticas para la limpieza de las instalaciones, que pueden incluir sistemas CIP automatizados.

4.3.4 ALIMENTOS Y BEBIDAS

PRÁCTICAS OPERATIVAS Y DE LIMPIEZA

- Adquirir frutas y verduras crudas limpias siempre que sea posible, esto reducirá la concentración de suciedad y pesticidas en el efluente.
- Minimice las fugas de agua y el agua de refrigeración utilizada para las bombas instalando cierres mecánicos y realizando un mantenimiento adecuado de estos equipos
- Aumente la vida útil de los limpiadores cáusticos recogiéndolos en un tanque de sedimentación aislado y reutilizándolos paravavados o actividades de limpieza.
- Cuando se utilice agua, emplee técnicas de lavado a contracorriente para el lavado primario de las materias primas a fin de permitir una mejor separación de los sólidos para la reutilización del agua.
- Elaboración de cerveza: Retire el grano del tonel con métodos secos, como el rastrillado o el cepillado. Limpiar el tonel con agua de lavado procedente de otras operaciones de limpieza, asegurándose de que no se ponen en peligro las condiciones higiénicas.
- Elaboración de cerveza: Utilice del grano usado como alimento animal, ya sea húmedo en un 80% o seco tras la evaporación. Elimine del lúpulo húmedo y los restos añadiéndolos al grano usado.
- Molinos húmedos de café: Si se instala un equipo de eliminación de mucílago, separarlo del flujo de aguas residuales y buscar alternativas para tratarlo o utilizarlo como subproducto.

OPORTUNIDADES DE EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA

- Minimice el transporte húmedo. Busque opciones de transporte mecánico que sean viables.
- Instale unidades de recirculación de agua con filtros, especialmente para el agua de lavado del proceso.
- Separe y recircule el agua de refrigeración de los flujos de proceso y de aguas residuales.
- Reutilice el agua de proceso no filtrada ni tratada como primer enjuague en los ciclos de lavado, o para la limpieza primaria de suelos y canaletas.
- Utilice métodos secos, como la vibración o los chorros de aire, para limpiar frutas y verduras crudas en lugar de agua.
- Ingenios azucareros: Utilice el agua condensada sobrante para fundir, hacer magma, diluir la masa cocida y limpiar los sistemas de evaporación, entre otros. Además, el condensado sobrante puede enfriarse y utilizarse para sustituir al agua dulce, cumpliendo las normas sobre agua potable en caso de contacto con alimentos o personas.
- Elaboración de cerveza: Utilice el agua de enjuague de las botellas para el lavado de las cajas.

MODIFICACIONES DE PROCESOS Y EQUIPOS

- Instale rejillas o tamices en lugares estratégicos de las instalaciones para evitar la entrada de sólidos en el flujo de aguas residuales.
- Instale un sistema de control automático del nivel en la bomba de agua de servicio para controlar el desbordamiento de los depósitos elevados.
- Evalúe el uso de métodos CIP para descontaminar los equipos.
- Utilice mangueras de alta presión y bajo volumen para la limpieza de los equipos.
- Molinos húmedos de café: Siempre que sea posible, instale equipos de despulpado y eliminación de mucílago que ahorren agua.
- Ingenios azucareros: Instale tanques de retención para almacenar el agua altamente contaminada durante la limpieza del molino para evitar un aumento de la carga de la PTAR.

4.3.5 PROCESAMIENTO DE CARNE

PRÁCTICAS OPERATIVAS Y DE LIMPIEZA

- Procure utilizar agua a menos de 30 °C en el lavado de las canales para reducir la eliminación de grasa de las superficies.
- Maximice la separación de sangre y agua diseñando instalaciones adecuadas para la recogida de sangre. Recupere la sangre para utilizarla en otras industrias como subproducto.
- Separe el estiércol del flujo principal de residuos y trátelo como residuo sólido.
- Elimine las GyA de las aguas residuales al inicio del proceso de tratamiento y trátelas como residuos sólidos o subproductos.

OPORTUNIDADES DE EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA

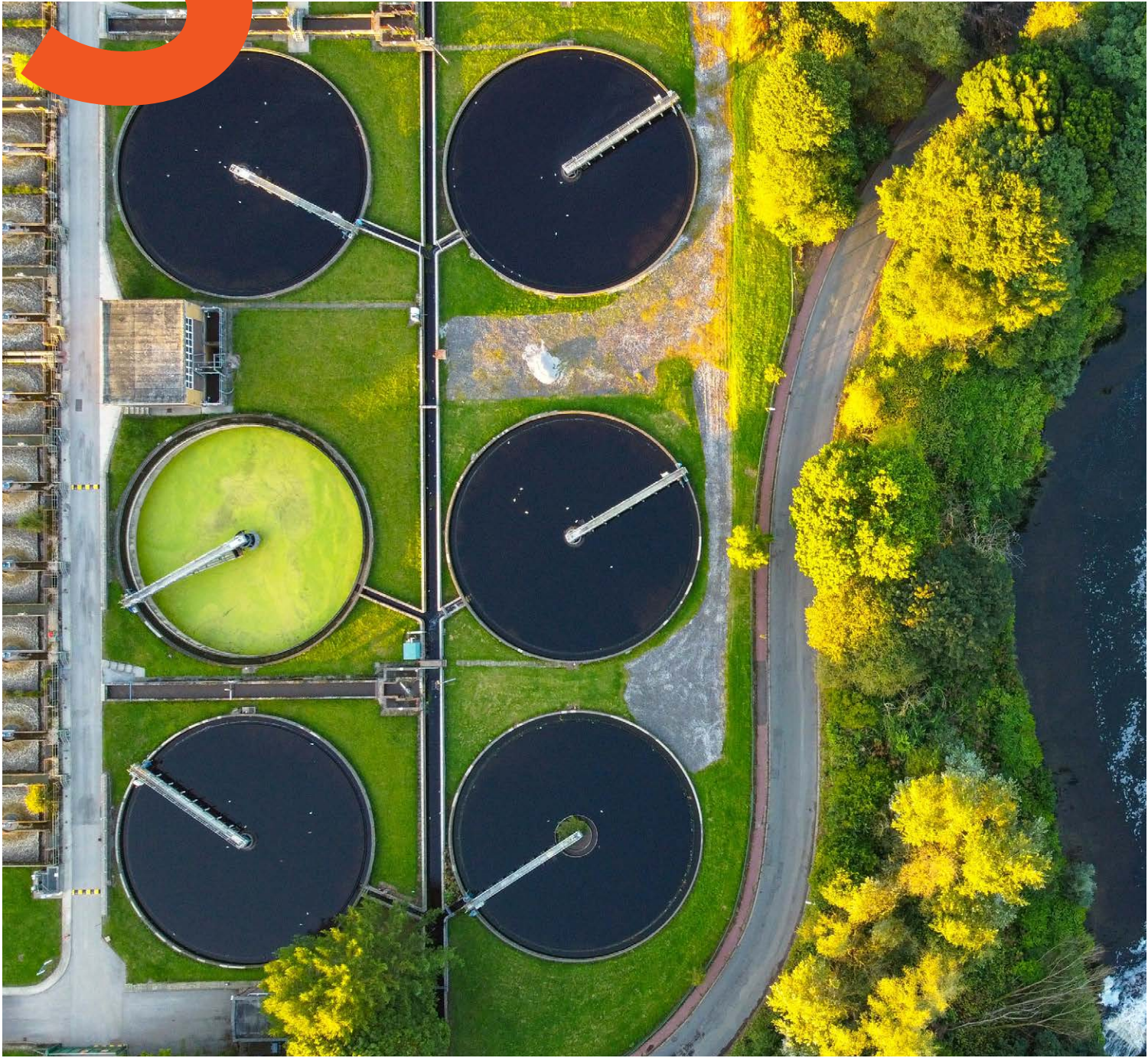
- Evite el uso de corrientes de agua como medio de transporte. Busque el transporte mecánico de sólidos y partículas.
- Minimice, en la medida de lo posible, el agua consumida en la producción utilizando grifos con cierre automático, utilizando presiones de agua más altas y mejorando la disposición del proceso.
- Separe y recircule el agua de refrigeración. Y, si es posible, reutilice las aguas residuales limpias de los sistemas de refrigeración para lavar el ganado, si es posible.

MODIFICACIONES DE PROCESOS Y EQUIPOS

- Utilice sistemas de control automatizados para controlar el caudal de agua en las estaciones de esterilización de cuchillos y de lavado de manos.
- Realice una limpieza previa en seco de los equipos y las zonas de producción antes de la limpieza en húmedo.
- Elimine los residuos sólidos antes de que entren en el flujo de aguas residuales: utilice desagües de suelo y canales de recogida con rejillas, tamices o sifones de GyA para reducir el número de sólidos que entran en la planta de tratamiento.

5

MPGAR para el Tratamiento de Aguas Residuales



5.1 CUANDO APLICAR LAS MPGAR PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Una vez aplicadas las prácticas de prevención de la contaminación, los contaminantes restantes en las aguas residuales deben eliminarse o reducirse para cumplir los objetivos de calidad y de normativa. Las MPGAR para el tratamiento de aguas residuales pueden implicar diversos procesos físicos, químicos y biológicos destinados a eliminar o reducir los contaminantes. Estos procesos incluyen el tamizado, la sedimentación, la filtración, el tratamiento químico, el tratamiento biológico y la desinfección. Los procesos específicos de tratamiento de aguas residuales utilizados dependerán de las características de las aguas residuales tratadas y de los objetivos de calidad que deban cumplirse. En algunos casos, pueden ser necesarias tecnologías de tratamiento avanzadas para cumplir las normas de calidad del agua.

La implementación de las etapas presentadas en la Figura 2 y descritas en las Secciones 5.1.1 a 5.1.3 son cruciales para seleccionar las tecnologías de tratamiento de aguas residuales de las MPGAR.

FIGURA 2 Pasos para implementar las MPGAR para el tratamiento de aguas residuales.

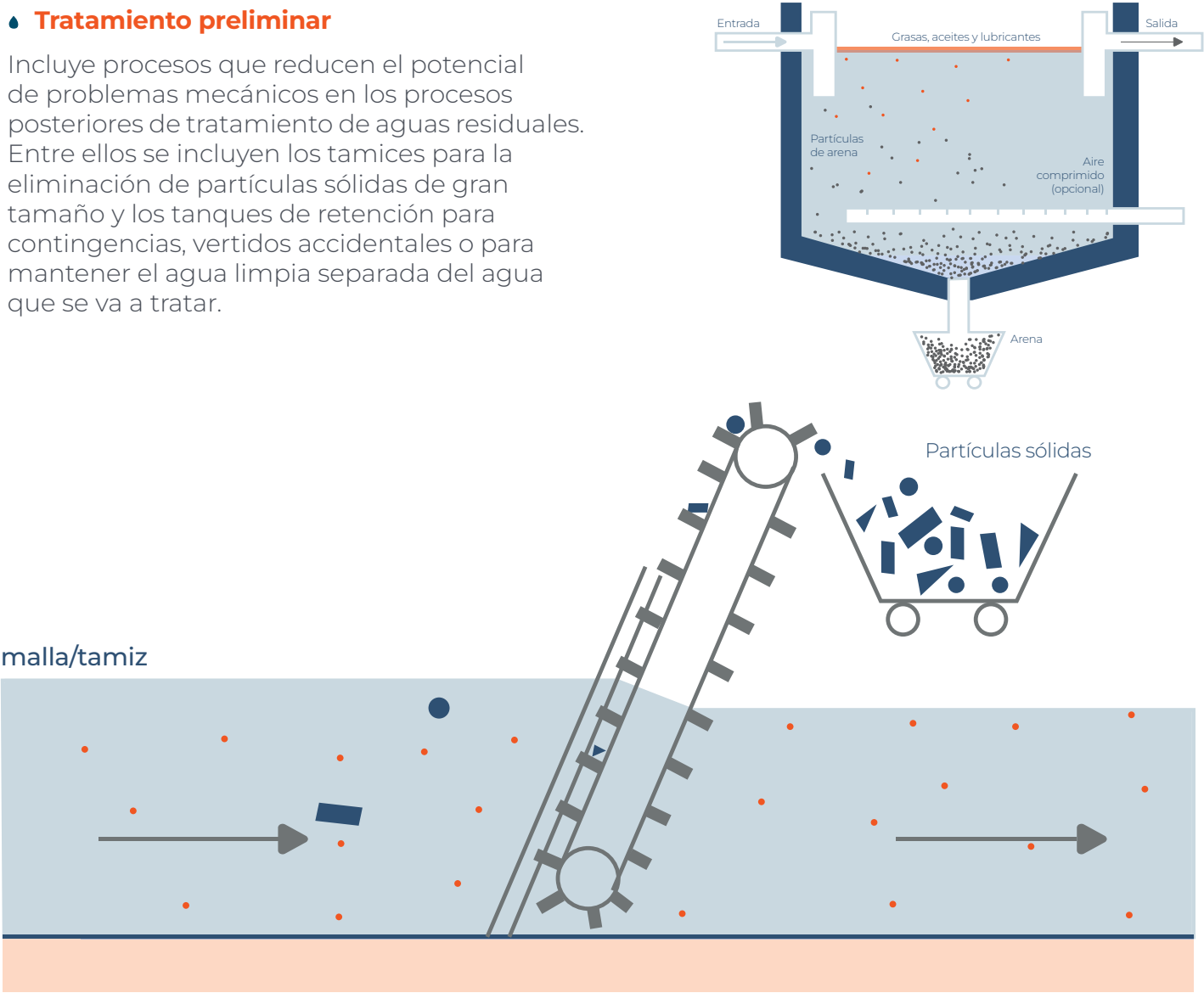


5.1.1 CLASIFICACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE LAS FASES DE TRATAMIENTO

El tratamiento de aguas residuales se divide en cuatro categorías principales, cada una de las cuales tiene como resultado la eliminación de contaminantes específicos del flujo de aguas residuales:

Tratamiento preliminar

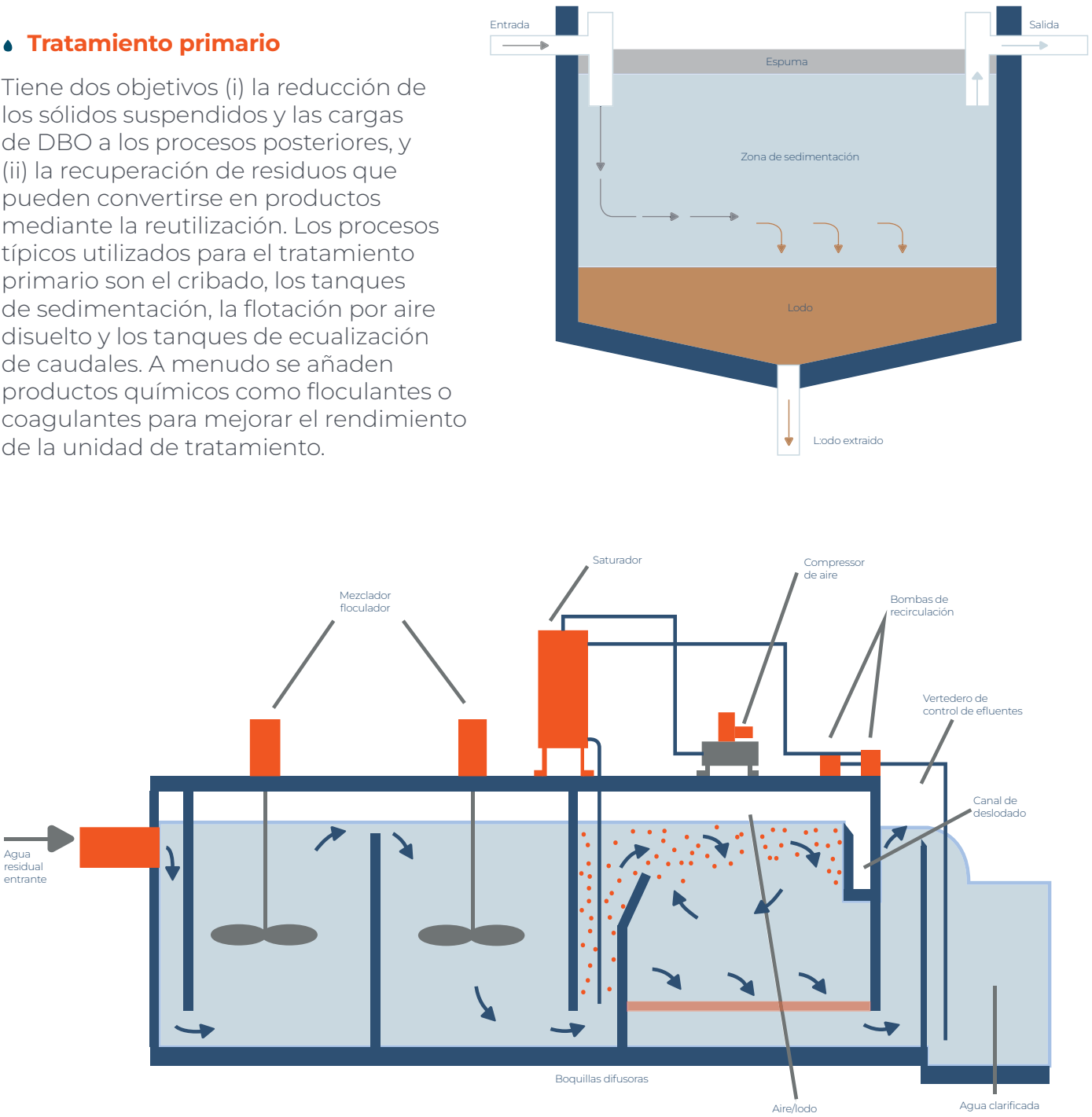
Incluye procesos que reducen el potencial de problemas mecánicos en los procesos posteriores de tratamiento de aguas residuales. Entre ellos se incluyen los tamices para la eliminación de partículas sólidas de gran tamaño y los tanques de retención para contingencias, vertidos accidentales o para mantener el agua limpia separada del agua que se va a tratar.



Fuente: (Tilley et al.,2014)

Tratamiento primario

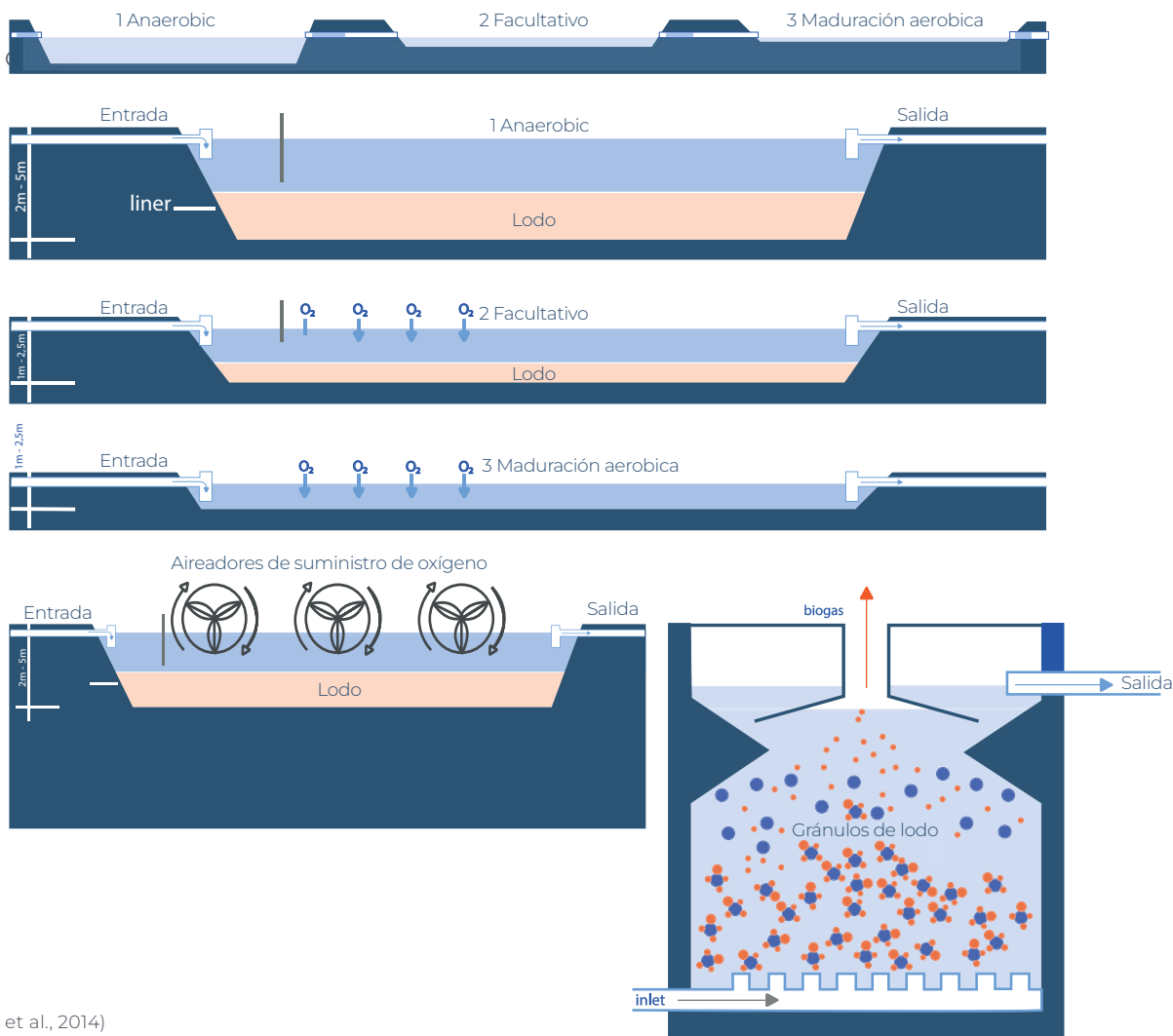
Tiene dos objetivos (i) la reducción de los sólidos suspendidos y las cargas de DBO a los procesos posteriores, y (ii) la recuperación de residuos que pueden convertirse en productos mediante la reutilización. Los procesos típicos utilizados para el tratamiento primario son el cribado, los tanques de sedimentación, la flotación por aire disuelto y los tanques de ecualización de caudales. A menudo se añaden productos químicos como floculantes o coagulantes para mejorar el rendimiento de la unidad de tratamiento.



Fuente: (Tilley et al., 2014) | Fuente: (Colic et al., 2005)

Tratamiento secundario

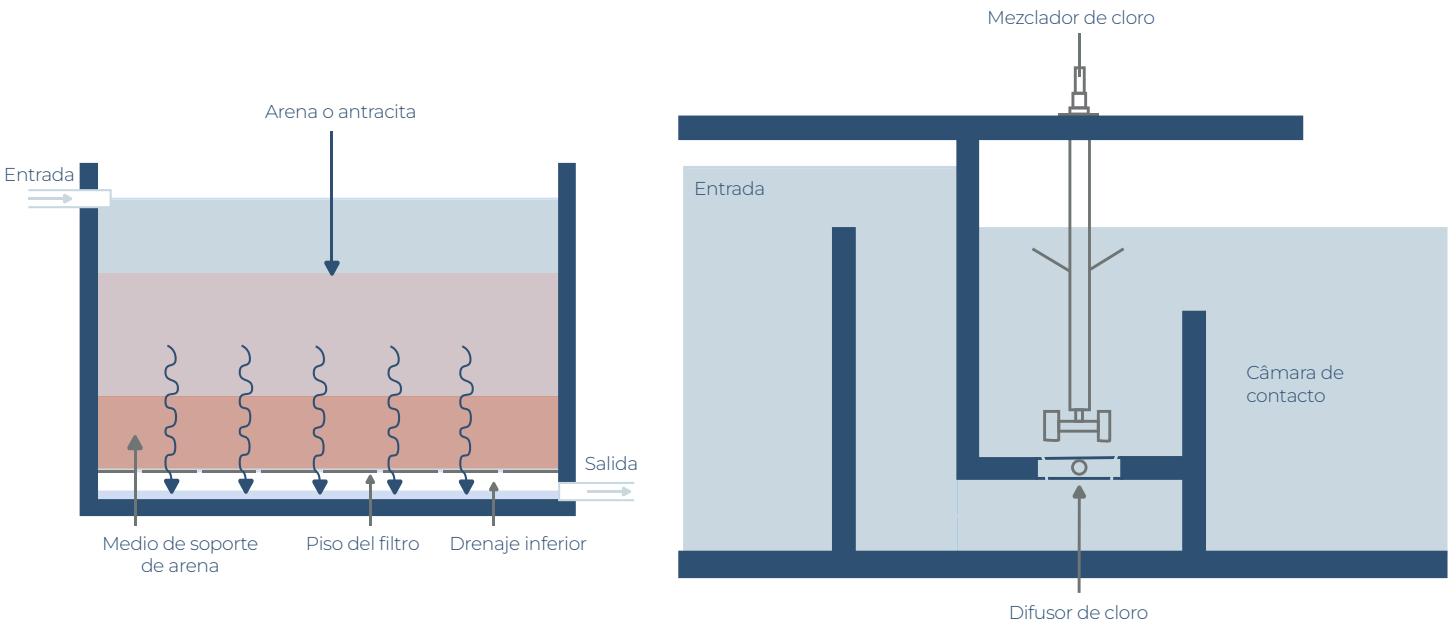
El tratamiento secundario tiene como objetivo reducir la DBO restante principalmente asociada a compuestos orgánicos solubles despues del trtamiento primario. Aunque el tratamiento secundario de las aguas residuales puede realizarse mediante una combinación de procesos unitarios físicos y químicos, los procesos biológicos han seguido siendo el enfoque preferido. Si se gestiona correctamente, el enfoque biológico puede alcanzar eficacias superiores al 90% de eliminación de contaminantes de las aguas residuales. Los tratamientos pueden ser anaerobios o aerobios; en la fermentación anaerobia se produce biogás, una fuente de energía alternativa. La Tabla 5 ofrece un resumen comparativo de alto nivel de las ventajas e inconvenientes de diversos tipos de tratamiento biológico, como las lagunas de tratamiento, los sistemas de lodos activados, la aireación prolongada, los reactores discontinuos secuenciados, los reactores anaerobios, entre



Fuente: (Tilley et al., 2014)

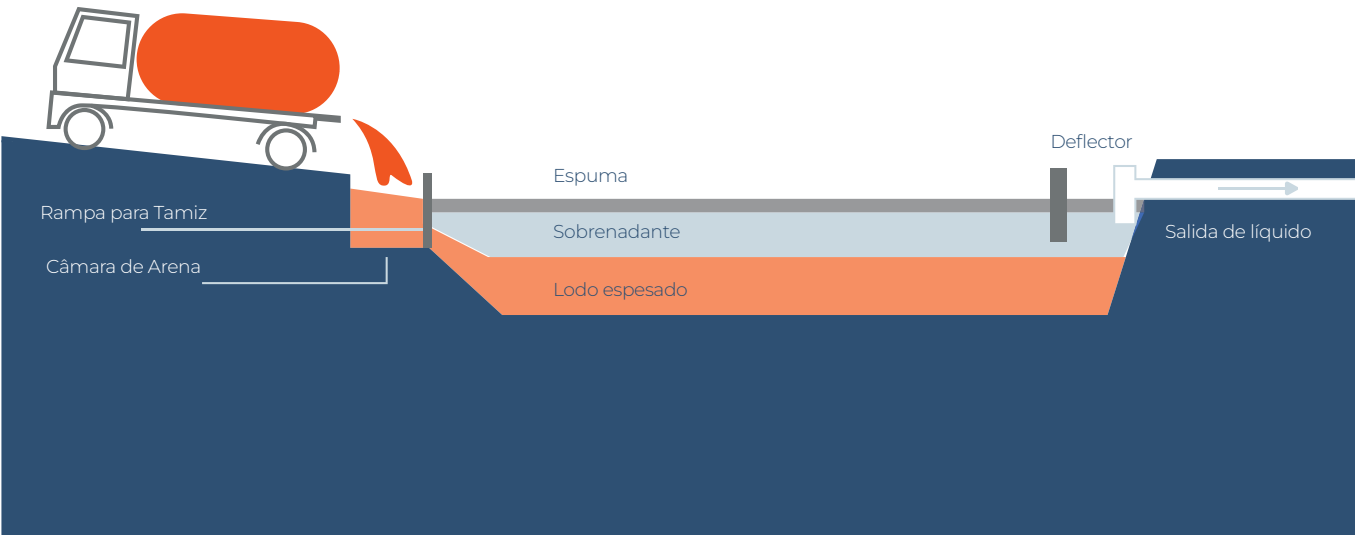
Tratamiento terciario

El tratamiento terciario o avanzado de aguas residuales es cualquier tratamiento que vaya más allá del tratamiento secundario convencional para eliminar más sustancias en suspensión o disueltas, como sustancias inorgánicas solubles refractarias, tóxicas y disueltas, y otros contaminantes no convencionales conocidos como contaminantes emergentes (CE), incluyendo metales, pesticidas, medicamentos veterinarios y subproductos de la desinfección. La eliminación de N y P también es habitual en los objetivos de tratamiento terciario de aguas residuales. La desinfección forma parte del tratamiento terciario que tiene como objetivo la remocion de microorganismos patógenos; la inyección de cloro es el método más utilizado. Sin embargo, la luz ultravioleta, la inyección de ozono y las combinaciones de UV y ozonización son alternativas de desinfección atractivas.



Tratamiento de lodos:

Los lodos son una mezcla de sólidos y líquidos, que contienen principalmente materia orgánica y agua, en combinación con todos o algunos de los siguientes elementos: arena, arenilla, metales, basura y diversos compuestos químicos. En los procesos de tratamiento de lodos, las etapas de tratamiento más comunes son el espesamiento y la deshidratación, cuyo objetivo es reducir el contenido de agua en los lodos y, en consecuencia, disminuir su volumen. La etapa inicial, el espesamiento, se basa principalmente en la gravedad, pero también puede realizarse mediante cintas móviles o tambores giratorios. La deshidratación, el paso siguiente, implica un secado extensivo en lechos o un tratamiento intensivo mediante diversas centrifugadoras o prensas, como filtros prensa de banda o prensas de tornillo. Una vez tratados adecuadamente, los lodos pueden utilizarse en la agricultura o llevarse a un vertedero (Tilley et al., 2014).



Fuente: (Tilley et al., 2014)

TABLA 5 Biorreactores utilizados para el tratamiento de aguas residuales y la producción de biogás (H₂ and CH₄)

Tipo de Biorreactor	Características del biorreactor	Tiempo de retención (días)	Eficiencia de remoción de la DQO (%)	Ventajas	Inconvenientes	Referencias
Sistema de estanque	Consta de hasta 12 estanques para enfriamiento, mezcla, tratamiento anaeróbico y facultativo, dependiendo de efluentes.	20–200	97	Bajo costo de operación, concentración simple, concentración de CH ₄ de hasta 55%	La producción de biogás depende de estaciones meteorológicas, se necesitan grandes áreas; difícil captura de gases	(Poh & Chong, 2009)
Filtración anaeróbica	Un biorreactor con recipiente hermético, digestor y control de temperatura.	15	94	Concentración de CH ₄ hasta 63%; control de pH y T (°C)	Alto costo	(Borja & Banks, 1994)
Biorreactor anaeróbico con deflectores modificado	Un dispositivo con tanque de alimentación, agitador magnético, bomba peristáltica y cubierta de agua.	5–10	93.3 ± 3.8	Concentración de CH ₄ 67-71%, control de T y pH	Alto costo	(Sung et al., 2019)
Reactor de lecho fluidizado	Un sistema de lecho compacto con flujo ascendente o descendente	70	98–80	Altas tasas de carga orgánica, gran área de contacto, alta velocidad de flujo	Necesita grandes cantidades de energía de entrada.	(Borja et al.,2001)
Manta de lodos anaeróbica de flujo ascendente (UASB)	Un sistema con una bomba, una manta de lodos, un separador de gas y un colector de gas.	Up to 200	60–97	Equipo versátil, puede manejar sólidos altamente suspendidos.	Largo período de puesta en marcha (2-4 meses)	(Ohimain & Izah, 2017)
Reactor anaeróbico con deflectores	Un conjunto de deflectores verticales para el flujo de efluentes, sin partes móviles ni dispositivos de mezcla.	3–5	82–92	Sencillo y económico, concentración de CH ₄ de 50-75%	Inconveniente con efluentes de alta viscosidad	(Faisal & Unno, 2001; Wang et al., 2004)
Flujo ascendente anaerobio de película fija	Un híbrido de UASB y película fija de flujo ascendente, con bombas, tanques de alimentación, separadores de gas y soportes.	4–40	89–97	Rápida biotransformación de materia orgánica, concentración de CH ₄ 62-82%	Un sistema complejo que requiere una gran potencia de entrada	(Najafpour et al., 2006)
Reactor con depósito agitado continuo (CSTR)	Un reactor de tanque cerrado con agitación mecánica para aumentar la superficie de contacto con la biomasa	4	60–83	Fácil operación, concentración de CH ₄ 65-67%	Contiene sistemas mecánicos y requiere un importante aporte de energía.	(Ohimain & Izah, 2017)

Fuente: Adaptado de Martinez-Burgos et al., 2021, p. 6.)

5.1.2 NIVEL DE TRATAMIENTO REQUERIDO

Como se indicó, las categorías de tratamiento de aguas residuales enumeradas anteriormente eliminarán contaminantes específicos del flujo de aguas residuales. Las diferentes combinaciones de los cuatro ayudarán a alcanzar los requisitos de calidad del efluente. Cada tecnología ha sido diseñada para eliminar contaminantes específicos y lograr diferentes niveles de reducción para diferentes sustancias. Como se presenta en la Sección 1.2 y el Anexo 1, cada país tiene su marco regulatorio y diferentes instituciones regulan la especificación de tratamiento para los parámetros de calidad.

La evaluación y requisitos se basan en las políticas de gestión de cada institución, y se definirá la eficacia eficiencia del tratamiento en relación con la disposición final del efluente; por ejemplo, los parámetros dependerán de la capacidad del cuerpo de agua receptor o de la capacidad de infiltración del suelo al reutilizar el efluente para fertirrigación (Ver Sección 6.1).

5.1.3 SELECCIÓN DE TRATAMIENTO

La concentración de los contaminantes y las cargas orgánicas en los efluentes no se puede delimitar dentro de una banda estrecha de concentraciones y caudales. El perfil de las aguas residuales depende de los contaminantes generados en cada proceso industrial, la concentración y la tasa de descarga masiva de cada contaminante; y el

caudal de aguas residuales incluye el volumen de aguas residuales generadas y la fluctuación en el tiempo (se producen fluctuaciones significativas debido a los turnos diarios, las horas de operación y la variación estacional en la producción).

Las reducciones de contaminantes estimadas para cada proceso industrial se basan en una combinación de información disponible en la literatura y la experiencia del equipo de estudio. Las eficiencias de reducción reportadas para las tecnologías de tratamiento primario y secundario en estas industrias generalmente se limitan a DBO, DQO, SST, nutrientes y GyA. Se registra una gama relativamente amplia de eficiencias de reducción en función de los tipos de tecnologías utilizadas. La gama de eficiencias refleja las diferencias de una instalación a otra en las capacidades de diseño, la variación de las cargas de contaminantes de entrada, la experiencia del operador y los sistemas de gestión de aguas residuales instalados.

Al seleccionar el nivel apropiado de tratamiento de aguas residuales, es importante considerar la viabilidad técnica y económica de las opciones de tratamiento. El análisis de costo-beneficio ayuda a determinar la opción de tratamiento más rentable que cumpla con los requisitos de calidad del efluente. Además, es crucial considerar las posibles emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) asociadas con el proceso de tratamiento; la selección de tecnologías y procesos de tratamiento debe procurar minimizar las emisiones de GEI. Si no se gestionan correctamente, algunas tecnologías de tratamiento de aguas residuales, como los reactores anaeróbicos, podrían contribuir significativamente a las emisiones globales de GEI.

5.2 REVISIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES Y ENFOQUE DE TRATAMIENTO PARA DIFERENTES AGRONEGOCIOS.

5.2.1 ACUICULTURA

CONTAMINANTES Y CARGAS ORGÁNICAS

La acuicultura genera grandes cantidades de aguas residuales que contienen materia orgánica y altos niveles de DQO, SST, N y P, como se presenta en la Tabla 6. Estos dos últimos parámetros se consideran importantes componentes de desecho de la piscicultura, que pueden causar graves problemas ambientales. Las altas características orgánicas provienen de los restos de alimentos, las heces de peces y los cadáveres de organismos. Además, es muy común la presencia de alimentos, hormonas y suplementos utilizados para mejorar la productividad y, a menudo, antibióticos (Turcios & Papenbrock, 2014). La mejor manera de reducir la cantidad de residuos vertidos es mejorar la gestión de los alimentos (Consejo Coordinador de Acuicultura de Maryland, 2007).

MÉTODOS DE TRATAMIENTO COMÚNMENTE ACORDADOS PARA TRATAR LAS AGUAS RESIDUALES DE LA ACUICULTURA

El tratamiento del agua en la acuicultura incluye la eliminación de sólidos, la oxidación de la materia orgánica y la nitrificación. Los procesos biológicos como los biofiltros sumergidos, los filtros percoladores, los reactores biológicos rotativos y los reactores de lecho fluidizado se utilizan comúnmente para oxidar la materia orgánica y la nitrificación. Asimismo, los filtros de perlas o biofiltros granulares expandibles pueden funcionar como filtros mecánicos y biológicos, por lo que se han utilizado en sistemas de recirculación (Turcios & Papenbrock, 2014). La tecnología de humedales artificiales o biojardineras es un método bien establecido y rentable que puede utilizar plantas halófilas y se está volviendo cada vez más crucial en los tratamientos de sistemas de recirculación de acuicultura. Es aceptable pasar las aguas residuales a través de una franja filtrante construida o con vegetación natural antes de reutilizarlas en otro estanque; esta franja permite la captura de sedimentos, materia orgánica y otros contaminantes mediante deposición, infiltración, absorción por la vegetación y descomposición. Se han utilizado eficazmente otras opciones de tratamiento, como lagunas y tanques de sedimentación (Maryland Aquaculture Coordinating Council, 2007).

Los investigadores han demostrado que los sistemas de humedales artificiales pueden eliminar cantidades significativas de sólidos en suspensión, materia orgánica, N, P, oligoelementos y microorganismos contenidos en las aguas residuales. Entre las ventajas de los humedales artificiales son los costos de capital moderados, el bajo consumo de energía y requisitos de mantenimiento, estética del paisaje y mayor hábitat para la vida silvestre. En un sistema de acuicultura de recirculación, es una práctica aceptable tratar los efluentes haciendo pasar las aguas residuales a través de una banda filtrante de vegetación construida o natural antes de su reutilización en otro estanque. Permite capturar sedimentos, materia orgánica y otros contaminantes por deposición, infiltración, absorción por la vegetación, descomposición y volatilización (Maryland Aquaculture Coordinating Council, 2007).

QUÉ ESPERAR DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS

Las altas características orgánicas provienen de los restos de comida, las heces y los cadáveres de los organismos, mientras que la proteína proviene del uso de hormonas o suplementos para mejorar la productividad. La DQO puede ser de 500 a 800 mg/L en promedio. Generalmente, las concentraciones de sólidos en el efluente no tratado de las granjas de flujo continuo son de alrededor de 50-80 mg/L, y estos sólidos comúnmente pueden transportar entre el 7% y el 32% del nitrógeno total (NT) y entre el 30% y el 84% del fósforo total (PT) en aguas residuales. Otros compuestos y contaminantes emergentes (CE) en las aguas residuales de la acuicultura son los desechos derivados de los alimentos, los antibióticos y las hormonas (Turcios y Papenbrock, 2014).



5.2.2 PROCESAMIENTO DE PRODUCTOS LÁCTEOS

CONTAMINANTES Y CARGAS ORGÁNICAS PREVISTAS

El procesamiento de lácteos genera aguas residuales que contienen niveles elevados de DQO, DBO, partículas inorgánicas y orgánicas como carbohidratos, azúcares disueltos, proteínas, GyA y nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, y posiblemente residuos de aditivos (Qasim & Mane, 2013). Las aguas residuales también pueden contener una carga microbiológica, virus y bacterias patógenos procedentes de materiales o procesos de producción contaminados. Pueden estar presentes altos niveles de GyA debido al procesamiento de leche y productos lácteos, lo que puede causar problemas con las tuberías de alcantarillado y los sistemas de tratamiento de aguas residuales, además, a menudo pueden generar olores que es necesario controlar.

Las fuentes de estas sustancias provienen de la leche o los productos lácteos perdidos en el proceso, por ejemplo, la leche derramada, los cultivos iniciadores utilizados en la fabricación de productos lácteos, los reactivos químicos aplicados en los procedimientos LIS y las necesidades sanitarias. Otras sustancias contaminantes pueden provenir de aditivos utilizados durante la fabricación, como el proceso de salado en la producción de queso, que puede provocar niveles elevados de salinidad en las aguas residuales. El principal contaminante en las aguas residuales del procesamiento de lácteos es el suero, atribuido a su alto contenido orgánico (Kolev Slavov, 2017).



QUÉ ESPERAR DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS

Los parámetros clave de una instalación de procesamiento de leche/leche en polvo son la DBO con un promedio de 1200 mg/L y hasta 4000 mg/L. La DQO suele ser aproximadamente 1,5 veces el nivel de DBO con un promedio de 2000 mg/L, hasta 6000 mg/L. Los sólidos suspendidos totales pueden ser de hasta 1000 mg/L, el P puede estar presente en 50-60 mg/L principalmente a partir de detergentes y limpiadores desperdiciados, y la concentración de N es aproximadamente del 5-6% del nivel de DBO. Las concentraciones típicas de GyA en las aguas residuales de las plantas lácteas oscilan entre 100 y 500 mg/L. Los valores de calidad de las aguas residuales de las plantas lácteas pueden variar según los procesos específicos utilizados y el tipo de productos lácteos que se produzcan, como se ve en la Tabla 6.

MÉTODOS DE TRATAMIENTO COMÚNMENTE ACORDADOS PARA TRATAR LAS AGUAS RESIDUALES DEL PROCESAMIENTO DE PRODUCTOS LÁCTEOS

Los tratamientos de agua en el procesamiento de lácteos incluyen la aplicación de métodos mecánicos, físico-químicos y biológicos, como se observa en la Tabla 7. El tratamiento mecánico, al igual que los clarificadores, es necesario para controlar los cambios de flujos volumétricos y másico y ayuda a reducir la concentración de sólidos en suspensión. Además, las trampas de grasa, los desnatadores o los separadores de agua y aceite pueden separar los sólidos flotantes. Los procesos físico-químicos eliminan eficazmente los compuestos emulsionados reduciendo los coloides de grasa de la leche y proteína de la leche; sin embargo, la adición de reactivos aumenta los costos de tratamiento del agua. La flotación por aire disuelto es un método de tratamiento eficaz porque reduce la carga orgánica a través de la desestabilización de coloides de proteínas y grasas con coagulantes y floculantes. Aun así, este método implica el uso de productos químicos costosos y sintéticos que pueden generar problemas ambientales como la liberación de productos químicos nocivos al ambiente, la contaminación de los cuerpos de agua y posibles daños a la vida acuática (Kolev Slavov, 2017).

Debido a su fiabilidad y capacidad para degradar eficazmente contaminantes altamente biodegradables, se prefieren los sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales, como los reactores anaeróbicos y aeróbicos. Es fundamental considerar que los ácidos grasos de la grasa láctea en las aguas residuales pueden provocar una acción inhibidora durante el tratamiento anaeróbico debido principalmente a la disminución del pH. Los procesos aeróbicos consumen mucha energía y deben combinarse con procesos anaeróbicos para alcanzar los estándares de descarga. Un reactor anaeróbico de flujo ascendente es una configuración típica y adecuada debido a su capacidad para tratar grandes volúmenes rápidamente. Además, los filtros anaeróbicos se aplican comúnmente en la etapa anaeróbica (Hassan & Nelson, 2012). Los reactores discontinuos secuenciales y los reactores de lecho biológico móvil son métodos estándar en el tratamiento aeróbico debido a sus diversas capacidades de carga y flexibilidad de efluentes (Kolev Slavov, 2017). Los procesos de membrana como la microfiltración, la electrodiálisis y la ósmosis inversa son métodos muy favorables. Estos ofrecen una separación eficaz de sólidos y líquidos, alto rendimiento de efluentes, plantas de menor tamaño y baja producción de lodos (Yonar, Sivrioğlu y Özengin, 2018).

5.2.3 ALIMENTOS Y BEBIDAS

CONTAMINANTES Y CARGAS ORGÁNICAS

Los efluentes de las industrias de alimentos y bebidas contienen principalmente una gran cantidad de azúcar, saborizantes y colorantes, que contribuyen indirectamente al aumento de DBO y DQO (Muhamad Ng et al., 2021). Además, en la composición de las aguas residuales están presentes agentes limpiadores blanqueadores de limpieza, sales y sólidos suspendidos totales, como fibras y partículas de suelo. En ocasiones pueden contener residuos de pesticidas provenientes del lavado de materias primas (OCETA, 2005).

En general, las aguas residuales de las instalaciones de procesamiento de refrescos, cervecerías, bodegas y destilerías generalmente se caracterizan por altas concentraciones de DBO, SST, P y N. Otras industrias específicas, como los ingenios azucareros y cafetaleros, se caracterizan por aguas residuales cargadas de materia orgánica del proceso, como azúcar, bagazo y melaza (para los ingenios azucareros) y pulpas y mucílagos (de los beneficios húmedos del café). Estos tipos de materia orgánica causan niveles muy altos de DBO y SST, así como altos niveles de nutrientes, particularmente N y P. Debido a la naturaleza de estas aguas residuales, se espera que tengan efluentes de color marrón oscuro y ácidos que deben ser tratados como corresponde, antes de su liberación al ambiente.

QUÉ ESPERAR DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS

Las aguas residuales de las instalaciones de procesamiento de alimentos congelados y de frutas y verduras tienen valores promedio de DBO entre 100 y 3.500 mg/L, valores promedio de DQO entre 500 y 5.000 mg/L y concentraciones de SST entre 50 y 1.500 mg/L.

Las aguas residuales de las cervecerías contienen DBO en el rango de 1.000 a 30.000 mg/L, DQO en el rango de 2.000 a 40.000 mg/L y N en el rango de 30 a 100 mg/L, P en concentraciones del orden de 5- 100 mg/L y valores de SST en el rango de 10-500 mg/L.

Los efluentes de la fabricación de azúcar y de los beneficios húmedos del café suelen tener valores de DQO de 110.000 a 190.000 mg/L, valores de DBO de 50.000 a 60.000 mg/L, valores de SST de 13.000 a 15.000 mg/L, valores de N de 5.000 a 7.000 mg/L, el P puede estar alrededor de 2.500-2.700 y los valores de pH oscilan entre 3,0 y 4,0; la Tabla 6 muestra un resumen de estas cargas contaminantes.

MÉTODOS DE TRATAMIENTO COMÚNMENTE ACORDADOS PARA TRATAR LAS AGUAS RESIDUALES DEL SECTOR DE ALIMENTOS Y BEBIDAS

La variabilidad en la calidad y cantidad de las aguas residuales de los procesadores de alimentos y bebidas hace impráctico recomendar un proceso genérico de tratamiento de aguas residuales como las MPGAR para este tipo de industria o sus subsectores. Dependiendo del tipo de industria procesadora de alimentos, las aguas residuales contienen carbohidratos, proteínas, sales inorgánicas y orgánicas, grasas y aceites. El proceso específico de tratamiento de aguas residuales en una instalación debe determinarse en función del perfil de aguas residuales de la instalación y el nivel de tratamiento requerido. Para definir tecnologías, normalmente se utiliza un proceso iterativo para determinar la configuración óptima de las etapas de tratamiento. Este proceso considera factores tales como los perfiles de referencia de las aguas residuales, las eficiencias de eliminación de cada una de las etapas de tratamiento, la capacidad del equipo de tratamiento existente y las especificaciones finales del efluente (OCETA, 2005). Es posible que también sea necesario incluir en el análisis factores como el manejo y eliminación de lodos.

Se pueden utilizar una sola tecnología o un grupo de ellas para cumplir con los criterios de descarga establecidos para los diversos parámetros físicos, químicos y biológicos. La Tabla 7 enumera tecnologías de tratamiento comunes utilizadas en las industrias de alimentos y bebidas. Generalmente se necesita un tratamiento preliminar que consiste en un tamiz y recipientes de neutralización del pH. Asimismo, un tren de tratamiento que combine técnicas físicas, químicas y biológicas (especialmente digestores/ reactores anaerobicos o humedales) permite alcanzar elevados porcentajes de reducción de los principales contaminantes. Se podrían implementar sistemas de flotación por aire disuelto, ya que permiten altas tasas de eliminación de DQO, color y turbidez. Sin embargo, es importante considerar sus altos costos energéticos y la posible eliminación limitada de lodos debido a su toxicidad. La electroquímica, la oxidación química y la electrooxidación, la microfiltración y la ósmosis inversa son otras tecnologías de tratamiento emergentes reportadas en las industrias de alimentos y bebidas que logran altas eficiencias de eliminación de DQO, DBO y SST (Shrivastava et al., 2022).

Muchas industrias de alimentos y bebidas también utilizan tanques de tratamiento, ya que les puede resultar más rentable. Sin embargo, es aconsejable incluir un diseño, monitoreo y mantenimiento adecuados para garantizar el funcionamiento continuo del tanque y evitar impactos negativos en el ambiente.



5.2.4 PROCESAMIENTO DE CARNE

CONTAMINANTES Y CARGAS ORGÁNICAS

La composición de los efluentes de aguas residuales de otras industrias de proteína animal depende en gran medida del tipo de animal sacrificado. Las aguas residuales contienen contaminantes como sangre, vísceras (estómago e intestino), estiércol, orina, recortes de carne, pelos, plumas, grasa y desinfectantes. (Kharat, 2019). Las aguas residuales generadas como resultado de las unidades de sacrificio y procesamiento tienen una cantidad elevada de materia orgánica, GyA, nutrientes, patógenos (especialmente E. coli y Salmonella) y, en ocasiones, antibióticos y metales pesados como cobre, cromo, molibdeno, níquel, titanio, zinc y vanadio (Grupo del Banco Mundial, 2007).

La calidad de las aguas residuales está significativamente influenciada por el proceso de transformación de carne. El proceso de renderizado aporta aproximadamente el 60% de la carga orgánica total de una planta. La eficacia de la recolección de sangre es un factor importante para determinar la concentración de DBO en las aguas residuales del procesamiento de carne. El grado en que el estiércol -especialmente de las áreas receptoras- (orina y heces) se maneja por separado como residuo sólido es un factor importante que determina la DBO de las aguas residuales del procesamiento de carne (US EPA, 2002).

QUÉ ESPERAR DE LAS AGUAS RESIDUALES GENERADAS

En las instalaciones de procesamiento de carne, considerando la separación de la sangre, la DBO puede estar entre 150 y 5.500 mg/L, la DQO puede estar entre 500 y 16.000 mg/L y los niveles de SST pueden estar entre 0,1 y 10.000 mg/L. El N puede estar entre 50-850 y P entre 25-200; la Tabla 6 resume los valores de los contaminantes. También pueden estar presentes patógenos como Salmonella, E. coli, bacterias Shigella, huevos de parásitos y quistes amebianos. Pueden quedar residuos de pesticidas procedentes del tratamiento de animales o de sus alimentos. Los malos olores también son comunes. La presencia y concentración de patógenos dependerá de la efectividad de las prácticas de saneamiento y desinfección utilizadas durante las operaciones de procesamiento.

MÉTODOS DE TRATAMIENTO COMÚNMENTE ACORDADA PARA TRATAR LAS AGUAS RESIDUALES DEL PROCESAMIENTO DE CARNE.

El tipo de tratamiento depende de las características de las aguas residuales, la disponibilidad de instalaciones de tratamiento y las normas de descarga de efluentes. La Tabla 7 presenta una lista de tecnologías de tratamiento utilizadas en las instalaciones de procesamiento de carne. Generalmente, el tratamiento biológico (especialmente los digestores/reactores anaeróbicos) se emplea sobre otras opciones de tratamiento como la electrocoagulación, la separación por membrana y la oxidación avanzada para los efluentes del matadero y del proceso avícola. No se recomiendan los tratamientos químicos, especialmente los no biodegradables, ya que la adición de productos químicos aumenta el costo del tratamiento y la dificultad para eliminar los lodos químicos hace que el proceso sea económicamente desfavorable. Es importante priorizar las etapas de cribado y sedimentación de estas instalaciones para reducir al máximo las cargas orgánicas y los sólidos brutos. La mayoría de las instalaciones de tratamiento también deben implementar etapas de desinfección para matar o inactivar patógenos nocivos presentes en las aguas residuales antes de descargarlas al ambiente (Kharat, 2019).

Se podrían implementar sistemas de flotación por aire disuelto, ya que permiten altas tasas de eliminación de DQO, color y turbidez. Sin embargo, es importante considerar sus altos costos energéticos y la posible eliminación limitada de lodos debido a su toxicidad (Bustillo-Lecompte et al., 2016).

Al implementar biodigestores, es importante considerar que la fuente de aguas residuales debe controlarse cuidadosamente para evitar altos niveles de sustancias inhibitoras como metales pesados y antibióticos. La salida de agua del biodigestor (digestato) debe ser tratada adicionalmente ya que todavía contiene materia orgánica, patógenos, olores y nutrientes como N y P que podrían contaminar el agua si no se manejan adecuadamente. Se recomienda continuar el tratamiento del digestión con reactores aeróbicos y sistemas de filtración. Si se considera la salida de biogás para generación de energía o aplicaciones de calefacción, se debe realizar una desulfuración y eliminación de humedad.

La Tabla 6 muestra un resumen comparativo de las cargas contaminantes en las aguas residuales de las cuatro industrias mencionadas anteriormente, y la Tabla 7 resume las tecnologías de tratamiento comunes para estos diferentes procesos agroindustriales.

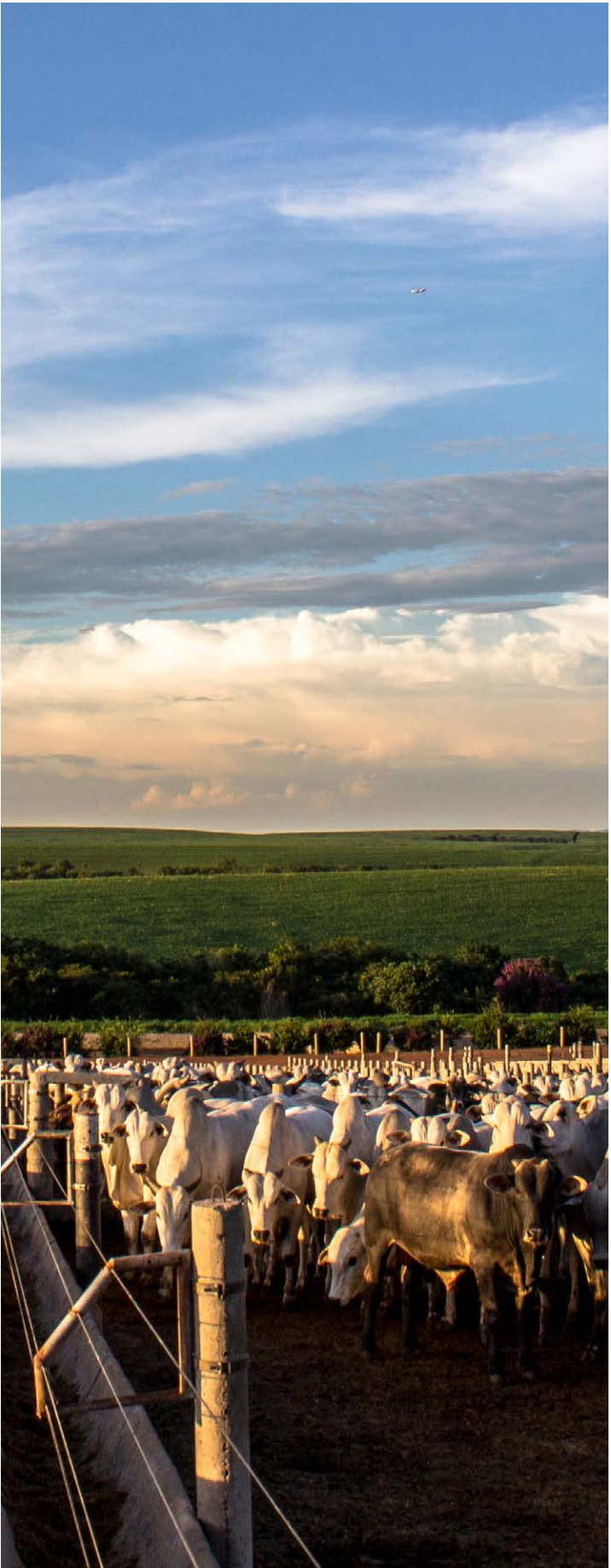


TABLA 6 Resumen comparativo de cargas contaminantes en aguas residuales de diferentes industrias. **TABLA 7** Resumen de tecnologías comunes de tratamiento para procesos agroindustriales

Sector	Ejemplo	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	SST (mg/L)	TN (mg/L)	PT (mg/L)	pH
ACUICULTURA	Instalación de procesamiento de acuicultura (Igwegbe y Onukwuli, 2019)	50–350	500–800	50-80	5.0-20	18-50	6.0-8.0
PROCESAMIENTO DE LÁCTEOS	Fábricas procesadoras de queso (Hung y Britz, 2006)	5,000-60,000	2,300-30,000	2,000-12,000	100-170	40-100	3.5-5.5
	Fábricas de procesamiento de leche/leche en polvo.(Hung y Britz, 2006)	2,000-6,000	1,200-4,000	350-1,000	100-170	50-60	8.0-11.0
	Fábricas de procesamiento de suero(Hung y Britz, 2006)	68,800	35,000	1,300	1,400	370-640	4.6
PROCESAMIENTO DE CARNE	Planta de matadero** (Bustillo-Lecompte et al., 2016)	500–16,000	150–8,500	0.1–10,000	50–850	25–200	4.9–8.1
ALIMENTOS Y BEBIDAS	Ingenios azucareros con destilerías de agua de lavado gastada (Dhote et al., 2021)	110,000 - 190,000	50,000-60,000	13,000 - 15,000	5,000 - 7,000	2,500 – 2,700	3.0-4.0

**Los valores máximos mostrados dependen de la separación de la sangre y el estiércol. La sangre tiene una DQO de aproximadamente 375.000 mg/L y una DBO de aprox. 150.000-200.000(Yetilmmezsoy et al., 2022).

Industria	Tratamiento preliminar	Tratamiento primario	Tratamiento secundario	Tratamiento Terciario	Tratamiento de lodos
ACUICULTURA	Rejillas, filtros mecánicos.	Tanque de sedimentación, clarificador, centrífuga.	Biofiltros sumergidos, filtros percoladores, contactores biológicos rotativos, reactores de lecho fluidizado	Humedales artificiales	Los lodos producidos en el tratamiento primario y secundario deben deshidratarse antes de eliminarlos mediante lechos de secado de lodos, centrifugas o decantadores. Se recomienda secar aún más el lodo para producir biosólidos que puedan reutilizarse.
PROCESAMIENTO DE LÁCTEOS	Ecualización de flujo, mallas, filtros mecánicos, trampas de grasa, desnatadores o separadores de agua y aceite.	Coagulación y floculación, flotación de aire disuelto y regulación del pH (si es necesario)	Los tratamientos biológicos aeróbicos/ anaeróbicos incluyen estanques aeróbicos/ anaeróbicos revestidos, reactores aeróbicos, filtros anaeróbicos, UASB y biofiltros.	Cloro, UV (si hay patógenos presentes)	
PROCESAMIENTO DE CARNE	Ecualización de flujo, mallas y filtros mecánicos.	Tanque de sedimentación, flotación de aire disuelto y regulación del pH (si es necesario)	Al tratamiento anaeróbico, como filtros anaeróbicos y UASB, le siguen reactores o estanques aeróbicos.	Cloro, UV (si hay patógenos presentes, especialmente si las aguas residuales se usan para riego)	
ALIMENTOS Y BEBIDAS	Ecualización de flujo, mallas y filtros mecánicos.	tanque (o area) de sedimentación, flotación de aire disuelto y regulación del pH (si es necesario)	Los tratamientos biológicos aeróbicos/ anaeróbicos incluyen estanques revestidos aeróbicos/anaeróbicos, reactores aeróbicos, filtros anaeróbicos, UASB y biofiltros.	Cloro, UV (si hay patógenos presentes, si las aguas residuales se usan para riego), filtro multimedia, filtro de arena, filtro de tela, ultrafiltración y microfiltración.	

6

Gestión de Efluentes



6.1 GESTIÓN DE EFLUENTES Y EVALUACIÓN DE RIESGOS

Al decidir cómo descargar las aguas residuales, normalmente se consideran los siguientes factores: proximidad a cuerpos receptores de agua, acceso al alcantarillado y conveniencia. El proceso de toma de decisiones a menudo implica evaluar diferentes vías de descarga en función de cuáles tienen los parámetros de descarga menos estrictos que se aplican a la industria específica.

Si bien la proximidad a los cuerpos de agua y el acceso a las alcantarillas son consideraciones importantes para seleccionar las vías de descarga de aguas residuales, las instalaciones deben considerar los posibles impactos ambientales que sus descargas pueden causar. Se recomienda que todas las instalaciones que realicen descarga de aguas residuales lleven a cabo una evaluación basada en el riesgo para abordar este problema y utilicen una metodología de evaluación de riesgos para gestionar eficazmente los riesgos potenciales. La Sección 6.4 proporciona pautas generales sobre cómo realizar una evaluación de riesgos de descarga.

En este contexto, el riesgo se define como la probabilidad de que ocurra un evento indeseable y comúnmente se evalúa al elegir entre cursos de acción alternativos. Diversas industrias y organizaciones utilizan la evaluación de riesgos, incluidas la ingeniería, la economía, la salud pública, la medicina, la gestión de recursos naturales, el riego y la

bioseguridad. La evaluación de riesgos ambientales implica evaluar las interacciones entre los valores ambientales, los estresores y las acciones de gestión para salvaguardar estos valores; su propósito es evaluar los impactos potenciales de los factores estresores sobre los valores ambientales.

6.2 CONSIDERACIONES GENERALES PARA DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES

6.2.1 CONSIDERACIONES GENERALES PARA DESCARGA A AGUAS SUPERFICIALES

- La temperatura de las aguas residuales antes de su descarga no debe exceder los tres °C de temperatura ambiente en el borde de una zona de mezcla de descarga (ZMD) establecida científicamente, que considera la calidad del agua ambiental, el uso del agua receptora y la capacidad de asimilación, entre otros.
- No verter a las aguas superficiales los lodos producidos en el tratamiento de aguas residuales.

6.2.2 CONSIDERACIONES GENERALES PARA DESCARGA A SISTEMAS DE ALCANTARILLADO SANITARIO (DESCARGA INDIRECTA)

- La descarga no debe interferir, directa o indirectamente, con la operación y el mantenimiento de los sistemas de recolección y tratamiento, ni representar un riesgo para la salud o la seguridad de los trabajadores, ni afectar negativamente las características de los residuos de las operaciones de tratamiento de aguas residuales.
- Las aguas residuales deben descargarse en sistemas municipales o centralizados de tratamiento de aguas residuales que tengan la capacidad adecuada para cumplir con los requisitos reglamentarios locales para el tratamiento de las aguas residuales generadas por el proyecto.
- Incluso si los sistemas municipales o centralizados de tratamiento de aguas residuales que reciben aguas residuales del proyecto tienen la capacidad suficiente para mantener el cumplimiento regulatorio, se debe implementar un tratamiento previo de las aguas residuales para cumplir con los requisitos regulatorios antes de su descarga desde el sitio del proyecto.
- No verter a los sistemas de alcantarillado sanitario los lodos producidos en el tratamiento de aguas residuales.

6.2.3 CONSIDERACIONES GENERALES PARA DESCARGAS A AGUAS COSTERAS (ESTUARIOS, BAHÍAS) O MAR ABIERTO

- Evite áreas con altas tasas de erosión costera para prevenir la degradación del suelo y la destrucción del hábitat.
- Elija un lugar de descarga alejado de áreas sensibles como arrecifes de coral, reservas marinas y zonas de pesca.
- Tenga en cuenta que los estuarios son menos capaces de aceptar y dispersar efluentes debido a su naturaleza poco profunda y confinada, y también pueden atrapar partículas donde se encuentran el agua dulce y la salada, lo que podría provocar una acumulación tóxica.(Consejo Nacional de Investigación (EE.UU.), 1993).
- No descargue ningún lodo producido en el tratamiento de aguas residuales en aguas costeras o puertos.
- Por lo general, no existen parámetros de descarga específicos para la descarga de aguas residuales en aguas costeras en el marco regulatorio de ALC. Por lo tanto, realizar un estudio de evaluación de riesgos de descarga considerando la Zona de Mezcla de Descarga (ZMD) (Ver Sección 6.4) es importante para garantizar prácticas responsables de descarga de aguas residuales y minimizar su impacto en los ecosistemas costeros.

CUÁNDO APLICAR LA EVALUACIÓN DE RIESGOS DE DESCARGA A AGUAS COSTERAS

- La ZMD es un área geográfica designada o un volumen de agua en el medio receptor de una descarga donde se produce la dilución inicial del efluente. Es donde se podría permitir la superación de los estándares y límites de calidad del agua, contribuyendo a la gestión sostenible de las actividades de vertido y minimizando sus efectos sobre el ambiente y la salud humana (Campos et al., 2022).
- Varios factores determinan la magnitud y el alcance de los efectos de las aguas residuales en la ZMD (Campos et al., 2022), como la calidad y cantidad del efluente vertido, la salud del medio receptor antes de que se mezcle el efluente (para nuevos vertidos, es mejor determinar estas características de contexto antes de dar su consentimiento), la proximidad del vertido a receptores “sensibles”, incluidos hábitats protegidos y otros recursos naturales y usos humanos del ambiente, la hidrodinámica del cuerpo de agua (incluidos aquellos dentro de la zona de mezcla) y las interacciones físicas, químicas y biológicas entre la descarga y el medio receptor y la capacidad del ambiente receptor de asimilar los contaminantes del vertido.

6.2.4 CONSIDERACIONES GENERALES PARA EL RIEGO, FERTIRRIGACIÓN O INFILTRACIÓN DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS CON FINES AGRÍCOLAS.

- Al igual que con las descargas a aguas costeras, debido a la falta de regulaciones concluyentes sobre el riego con aguas residuales en muchos países de ALC, es crucial realizar una evaluación integral de riesgos de la vía de descarga.
- Como guía, se recomienda seleccionar un sitio de referencia po cada 0,1 km2 dentro del área de riego, ya que el suelo en esta área es un indicador integral de todos los materiales aplicados. Para monitorear la acumulación de metales y la posible contaminación de las aguas superficiales o subterráneas, se deben recolectar muestras de suelo antes de que comience el riego y anualmente al comienzo de la temporada de aplicación. De acuerdo a PNUMA (2005), para sistemas con un caudal de agua diario superior a 567.000 L, es aconsejable recolectar muestras de suelo dos veces al año. Las pruebas anuales del suelo realizadas en el mismo lugar pueden servir como sistema de alerta temprana de posibles peligros ambientales.
- De acuerdo con la FAO (1992), a continuación se detallan una serie de parámetros esenciales y posibles consecuencias asociadas con la fertirrigación, el riego paisajístico o la infiltración. Para especificaciones adicionales con respecto a estos parámetros, consulte el Anexo 3.

FACTORES DE CALIDAD DEL AGUA

- ◆ **Conductividad eléctrica (CE) y concentraciones de iones:** Los parámetros como las concentraciones de iones de sodio, calcio y magnesio, junto con la CE, desempeñan un papel crucial en la evaluación de la calidad del agua para fines de riego. Los valores altos de CE sugieren un mayor contenido de sal en el agua. La acumulación excesiva de sal en los suelos puede reducir el crecimiento de las plantas, dificultar la absorción de agua y provocar la degradación del suelo mediante la salinización. El sodio es un catión que, cuando está presente en exceso, puede provocar la dispersión del suelo y su posterior compactación, afectando la estructura del suelo y reduciendo la infiltración de agua y la penetración de las raíces.
- ◆ **Sólidos suspendidos:** Estas partículas sólidas tienden a acumularse en el suelo y requieren un secado periódico para una adecuada recuperación de la infiltración. En suelos con diferentes texturas, la profundidad de penetración de los sólidos en suspensión varía. Los suelos más gruesos permiten que las partículas finas y coloidales penetren más profundamente. Sin embargo, en la mayoría de los casos, los suelos actúan como filtros eficaces, eliminando los sólidos suspendidos del efluente de aguas residuales después de la percolación a través de la zona vadosa.
- ◆ **DBO5 (Demanda de oxígeno bioquímico):** Los sistemas de riego de jardines, fertirrigación e infiltración pueden manejar altas cargas de DBO, reduciendo a menudo los niveles de DBO a cantidades insignificantes después de una distancia relativamente corta de percolación a través del suelo. Cuando se utilizan aguas residuales no tratadas con niveles elevados de DBO5 para riego, fertirrigación o infiltración, pueden provocar efectos adversos como desequilibrios de nutrientes, contaminación de las aguas subterráneas, reducción de la infiltración de agua y mayor susceptibilidad a las enfermedades de los cultivos.
- ◆ **Microorganismos patógenos:** Las aguas residuales pueden contener bacterias dañinas, como salmonela, shigella, micobacterias y E. coli. El suelo es un filtro natural que elimina eficazmente estos microorganismos de los efluentes de aguas residuales. Las bacterias se eliminan físicamente, mientras que los virus se adsorben; el pH, la concentración de sal y cationes específicos influyen en este proceso de adsorción. Las medidas efectivas incluyen reducir los niveles bacterianos en los efluentes de aguas residuales antes de la infiltración y garantizar las características adecuadas del suelo en el sistema de riego.

NUTRIENTES

- ◆ **Nitrógeno:** Las aguas residuales contienen varias formas de nitrógeno, incluido el nitrógeno orgánico, de amonio y de nitrato. La composición depende de procesos de tratamiento previos. La forma y concentración apropiadas de nitrógeno en las aguas residuales tratadas deben alinearse con los requisitos de los cultivos, la protección del agua subterránea y los posibles usos alternativos. La gestión controlada de la forma y concentración del nitrógeno se puede lograr mediante tasas de carga hidráulica y ciclos de infiltración húmedo-seco.
- ◆ **Fósforo:** Los efluentes de procesos agroindustriales pueden contener un contenido importante de fósforo. Este elemento puede sufrir una conversión biológica en fosfato. Factores como el pH y la composición del suelo influyen en su movilidad y disponibilidad en el suelo. En suelos calcáreos, el fosfato puede precipitar con calcio, mientras que en suelos ácidos reacciona con óxidos de hierro y aluminio para formar compuestos insolubles. La movilidad de los fosfatos varía en diferentes tipos de suelo.

OLIGOELEMENTOS

- ◆ Los metales pesados, el flúor y el boro son oligoelementos. En la mayoría de los casos, los metales quedan retenidos en el suelo y el pH desempeña un papel en la inmovilización. El fluoruro interactúa con los componentes del suelo, formando compuestos insolubles como el fluoruro de calcio. La movilidad del boro está influenciada por la textura del suelo, con adsorción en partículas de arcilla.

Al realizar riego o fertirrigación de aguas residuales tratadas, es fundamental tener en cuenta la capacidad de almacenamiento de aguas residuales antes de la irrigación. El almacenamiento es especialmente importante debido al riego durante las temporadas de no crecimiento, donde el método de aplicación no es continuo. Se necesita un almacenamiento de equilibrio normal para gestionar la producción de aguas residuales que excede el uso de agua, particularmente durante el invierno o la temporada sin riego. El porcentaje de seguridad recomendado para almacenar agua en este contexto puede variar según varios factores, incluido el clima local, los tipos de cultivos, las condiciones del suelo y las prácticas específicas de riego/fertirrigación. En general, un porcentaje de seguridad de alrededor del 20-30% del almacenamiento podría servir como punto de partida, permitiendo fluctuaciones imprevistas en la demanda y el suministro de agua y amortiguando las variaciones en factores como la lluvia, la evaporación y los cambios en las necesidades de agua de los cultivos.

CUÁNDO APLICAR LA EVALUACIÓN DE RIESGOS DE DESCARGA PARA RIEGO, FERTIRRIGACIÓN O INFILTRACIÓN DE AGUAS RESIDUALES TRATADA

- La evaluación del riesgo de vertido ayudará a determinar la capacidad del area de riego previsto para recibir las aguas residuales. Es importante señalar que los beneficios del uso de aguas residuales para riego incluyen niveles mejorados de N, P, K, materia orgánica del suelo, mayor actividad microbiana del suelo y una mejor estructura física. Sin embargo, es igualmente importante reconocer las posibles desventajas, como una mayor contaminación del suelo y de los alimentos, niveles elevados de patógenos, aumento de antibióticos y niveles elevados de metales pesados en el suelo y los productos vegetales.(Singh, 2021).
- El estudio de evaluación de riesgos también debe considerar varios factores, como el análisis de la relación de adsorción de sodio (RAS) (consulte el Anexo 3 y la Tabla A-3.2 para obtener más detalles), los modelos de dispersion /movilidad de carga de DBO y los estudios de infiltración. Al realizar una evaluación de riesgos exhaustiva, es posible identificar riesgos potenciales e implementar medidas efectivas para mitigarlos.
- Varios resultados importantes que surgen del proceso de evaluación de riesgos ayudarán a establecer el volumen máximo permitido de aguas residuales para riego o infiltración, definir la calidad permisible de las aguas residuales para dichos fines, desarrollar un programa apropiado de riego o infiltración, seleccionar la técnica de riego o infiltración adecuada, establecer límites superiores para las concentraciones de sal, regular los niveles freáticos e implementar un marco de seguimiento eficaz.
- En general, como medida de control estándar, es aconsejable garantizar que los sistemas de riego/ infiltración no contaminen las aguas subterráneas; es crucial monitorear tanto las áreas ascendentes como las descendentes. Se deben instalar pozos de monitoreo y se deben tomar muestras de agua al comienzo y al final de la temporada de riego para detectar cualquier signo de contaminación de aguas residuales. (PNUMA, 2005). Nota: Se recomienda cumplir con la norma ASTM D5092/ D5092M-16 para la construcción y monitoreo de pozos. Esta norma proporciona pautas y mejores prácticas para diseñar, construir y monitorear pozos de monitoreo de aguas subterráneas.

6.3 REUTILIZACIÓN DE EFLUENTES

Si bien la descarga de aguas residuales es una práctica comúnmente aceptada y regulada, es importante señalar que la promoción de medidas para la reutilización de aguas residuales tratadas se reconoce cada vez más como un paso positivo hacia el logro de los ODS y la promoción de prácticas sostenibles.

Además, es fundamental reconocer que la utilización de aguas residuales tratadas, ya sea reintroducidas en el proceso de producción o empleadas para otras actividades humanas, es

una práctica significativa y beneficiosa en contraste con su liberación directa a cuerpos de agua sin ningún propósito aparente. Cuando se implementan políticas, tecnologías e incentivos financieros apropiados, las aguas residuales pueden ser un recurso valioso.

Algunos beneficios potenciales de reutilizar aguas residuales tratadas son los siguientes:

- Conservación del agua: la reutilización de aguas residuales tratadas reduce la demanda de agua potable.
- Gestión ambiental: La reutilización de aguas residuales tratadas puede ayudar a reducir la

contaminación de los cuerpos de agua y prevenir la liberación de sustancias nocivas al ambiente.

- Uso industrial: las aguas residuales tratadas se pueden utilizar en algunos procesos industriales, como sistemas de refrigeración o con fines de limpieza, lo que puede reducir la necesidad de agua dulce y reducir los costos operativos.
- Uso agrícola: las aguas residuales tratadas se pueden utilizar para riego, fertirrigación y otros fines agrícolas, lo que reduce la necesidad de agua fresca.
- Ahorro de costos: la reutilización de aguas residuales tratadas puede ser rentable en comparación con otras fuentes de agua, especialmente cuando el agua fresca es escasa o costosa.
- Ahorro de energía: el tratamiento y transporte de agua fresca requiere energía, y la reutilización de aguas residuales tratadas puede ayudar a reducir el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Algunas consideraciones importantes al reutilizar aguas residuales tratadas son:

- Salud y seguridad: Es posible que sea necesario desinfectar las aguas residuales tratadas para evitar la propagación de patógenos, según el uso previsto.
- Calidad de las aguas residuales tratadas: necesita cumplir con las normas y requisitos para el uso previsto.
- Disponibilidad y demanda de agua: la reutilización de aguas residuales tratadas puede ayudar a conservar los recursos de agua fresca, pero no debería conducir a una dependencia excesiva de las aguas residuales tratadas ni comprometer otros usos esenciales del agua, como el consumo humano.
- Percepción pública: El público puede percibir la reutilización de aguas residuales tratadas como poco atractiva o antihigiénica. Por lo tanto, es importante comunicar los beneficios y las medidas de seguridad del uso de aguas residuales tratadas para ganar la

aceptación pública.

- Requisitos reglamentarios y legales: el uso de aguas residuales tratadas está sujeto a requisitos reglamentarios y legales que varían según la ubicación y el uso previsto. Es importante señalar que algunos países todavía están desarrollando directrices o estableciendo regulaciones para controlar la reutilización segura de aguas residuales, considerando tanto la salud ambiental como la humana.
- Monitoreo y mantenimiento: El monitoreo y mantenimiento continuo de los sistemas de tratamiento y reutilización de aguas residuales son necesarios para garantizar la calidad y seguridad de las aguas residuales tratadas y prevenir fallas o mal funcionamiento del sistema.

6.4 EVALUACIÓN BASADA EN RIESGOS DE LA DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES

6.4.1 DECISIÓN DE REALIZAR UNA EVALUACIÓN DE RIESGOS

La selección de rutas de descarga de aguas residuales basada en el riesgo debe considerar varios factores, como el volumen y la calidad de las aguas residuales, la sensibilidad del ambiente receptor y los posibles impactos en la salud humana y la vida acuática. Además, se puede utilizar una metodología de evaluación de riesgos, como la

desarrollada por EPA Victoria (2009), para identificar y evaluar los peligros y riesgos potenciales asociados con la descarga de aguas residuales y desarrollar medidas de mitigación apropiadas.

Al considerar el riego, la fertirrigación o la infiltración de aguas residuales tratadas para uso agrícola o paisajístico, es crucial reconocer la posibilidad de presencia de agua subterránea y su susceptibilidad a las características del agua. Por lo tanto, se deben tomar medidas apropiadas para garantizar que cualquier posible contaminación de las aguas subterráneas se gestione adecuadamente. La Figura 4 resume una revisión rápida de un receptor sensible a la vía para el riego de aguas residuales.

La decisión de realizar una evaluación de riesgos debe ser iniciada, en la mayoría de los casos, directamente por el responsable del vertido de aguas residuales, siempre que sea posible.(EPA Victoria, 2009):

- No existen regulaciones establecidas sobre la descarga de aguas residuales a un cuerpo de agua en particular o para fines como el riego.
- El cuerpo de agua en el que se descargarán las aguas residuales tiene una importancia ecológica significativa y puede identificarse fácilmente como tal, como una reserva acuática, un humedal RAMSAR, un río patrimonial, un plan costero o un río de una comunidad local. Ciertos tipos de cuerpos de agua, como estuarios, lagos y humedales, son altamente vulnerables a los impactos y deben considerarse cuidadosamente en cuanto a su susceptibilidad al daño ambiental.
- El nivel potencial de impacto según los componentes de la descarga, sus concentraciones, nivel de toxicidad y persistencia en el ambiente, y la capacidad de dilución del cuerpo de agua, se da en condiciones de bajo caudal, particularmente si se prevé que las condiciones de bajo caudal aumenten debido al cambio

climático, impactando el tamaño de la zona de mezcla.

Cuando el nivel necesario de evaluación es incierto, se puede emplear un enfoque escalonado para aumentar gradualmente la complejidad y los recursos dedicados a comprender mejor los riesgos involucrados, como se explica con más detalle en la Sección 6.4.2. Al realizar una evaluación de riesgos con niveles crecientes de análisis, eventualmente se puede obtener información suficiente. Este enfoque garantiza que los recursos y el tiempo se inviertan adecuadamente para adquirir el conocimiento necesario para tomar decisiones de gestión informadas.

6.4.2 REALIZAR UNA EVALUACIÓN DE RIESGOS

Si se va a realizar una evaluación de riesgos, debe realizarla un consultor o experto en la materia o una empresa con experiencia técnica. El Anexo 4 contiene un conjunto de directrices que describen los factores clave a tener en cuenta al seleccionar un consultor o experto en evaluación de riesgos. El proceso incluye cuatro niveles, como se muestra en la Figura 3 y se describe con más detalle a continuación. En el Anexo 5 se describe un ejemplo de evaluación de riesgos.

NIVEL 1- RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y DEFINICIÓN DE RIESGOS POTENCIALES

Reunir e integrar todos los datos e información disponibles sobre los usos beneficiosos y características de un cuerpo de agua y los posibles factores estresores de la descarga. Para esto, se necesitaría monitoreo del efluente, estimaciones de modelado del efluente, revisión de la literatura y planes locales.

Dentro de la evaluación de Nivel 1, un paso esencial implica evaluar el impacto potencial en el cuerpo de agua de los factores estresores originados por las descargas. Esta evaluación es clave para comprender y cuantificar los riesgos asociados con las actividades de descarga. Durante este proceso se deben considerar varios usos sensibles del curso de agua. Estos incluyen, pero no se limitan, ecosistemas acuáticos, actividades recreativas primarias o secundarias, valores culturales-espirituales indígenas y acuicultura. Para representar de manera exhaustiva la intrincada interacción entre parámetros, amenazas y factores contribuyentes, podría resultar útil representar esta relación visualmente. Las Figuras 4 y 5 proporcionan ejemplos ilustrativos de tales relaciones, aclarando las complejidades involucradas.

En los casos en los que se puedan identificar descargas vecinas u otros factores existentes influyentes, se recomienda considerar un enfoque de evaluación de riesgos acumulativos siguiendo las pautas descritas por la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. en el “Marco para la evaluación de riesgos acumulativos” (EPA, 2003).

NIVEL 2- DETECCIÓN

Incluye, por defecto, el cumplimiento de los parámetros de vertido establecidos o calculados, si los hubiera, y puede incluir compromisos particulares de la empresa, tales como mantener un ecosistema acuático saludable (es decir, comunidades de macroinvertebrados, biodiversidad o poblaciones de peces nativos) o garantizar que no haya afectación significativa en el curso de agua provocada por el vertido.

NIVEL 3 - RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN ADICIONAL

Si existe un plan para la descarga directa en aguas superficiales o costeras, puede ser necesario realizar estudios de la zona de mezcla de descarga o pruebas iniciales de la calidad del agua. Por otro lado, se recomienda realizar varias pruebas, como pruebas de permeabilidad, mediciones de niveles freáticos y evaluaciones de cobertura vegetal para riego.

NIVEL 4 - ALCANCE

Evalúe el nivel de riesgo utilizando la información recopilada para evaluar los riesgos potenciales asociados con la ruta de descarga. Priorizar las rutas en función del nivel de riesgo identificado. Si los datos indican que el nivel de riesgo es aceptable, el sitio puede utilizarse para descarga de aguas residuales o riego. El personal responsable del sitio debe garantizar que se implementen las medidas de control necesarias, incluidas las medidas de seguimiento y control identificadas durante la fase de determinación del alcance, además de las específicas del sitio. Sin embargo, si los datos revelan que el nivel de riesgo es inaceptable, el personal del sitio debe considerar vías de descarga alternativas o llevar a cabo estudios de modelado más avanzados.

MEDIDAS DE NOTIFICACIÓN Y SEGUIMIENTO

Una vez finalizada la evaluación de riesgos, es necesario compilar un informe que describa los riesgos identificados y las estrategias de gestión de riesgos para mitigarlos. Estas estrategias pueden implicar modificar el proceso de tratamiento de aguas residuales o implementar medidas de control para minimizar la exposición.

También es crucial monitorear y revisar periódicamente la efectividad de las estrategias de gestión de riesgos y actualizar la evaluación de riesgos según sea necesario. Además de los parámetros de monitoreo de la calidad del agua, el monitoreo puede incluir evaluaciones de las aguas subterráneas y la salinidad (en el caso del riego con aguas residuales), el análisis e interpretación de datos biológicos, el cálculo del cambio en el índice de calidad del agua del río para rastrear cualquier cambio a lo largo del tiempo y la realización de pruebas de ecotoxicidad, y el monitoreo la diversidad de comunidades de macroinvertebrados o plancton.

FIGURA 3 Revisión del procedimiento de análisis de riesgos por niveles para las vías de descarga

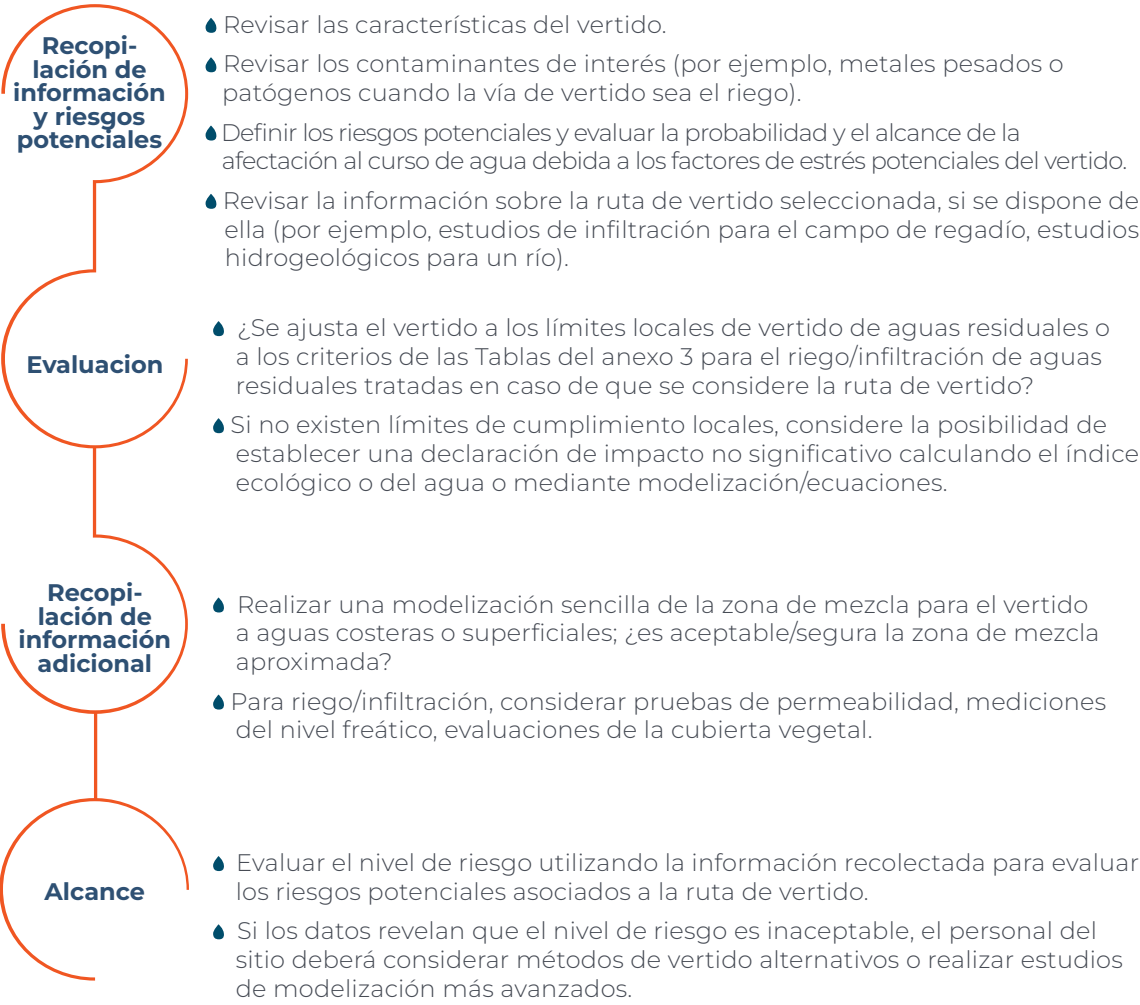


FIGURA 4 Ejemplo de revisión de receptores sensibles para a la vía del riego de aguas residuales

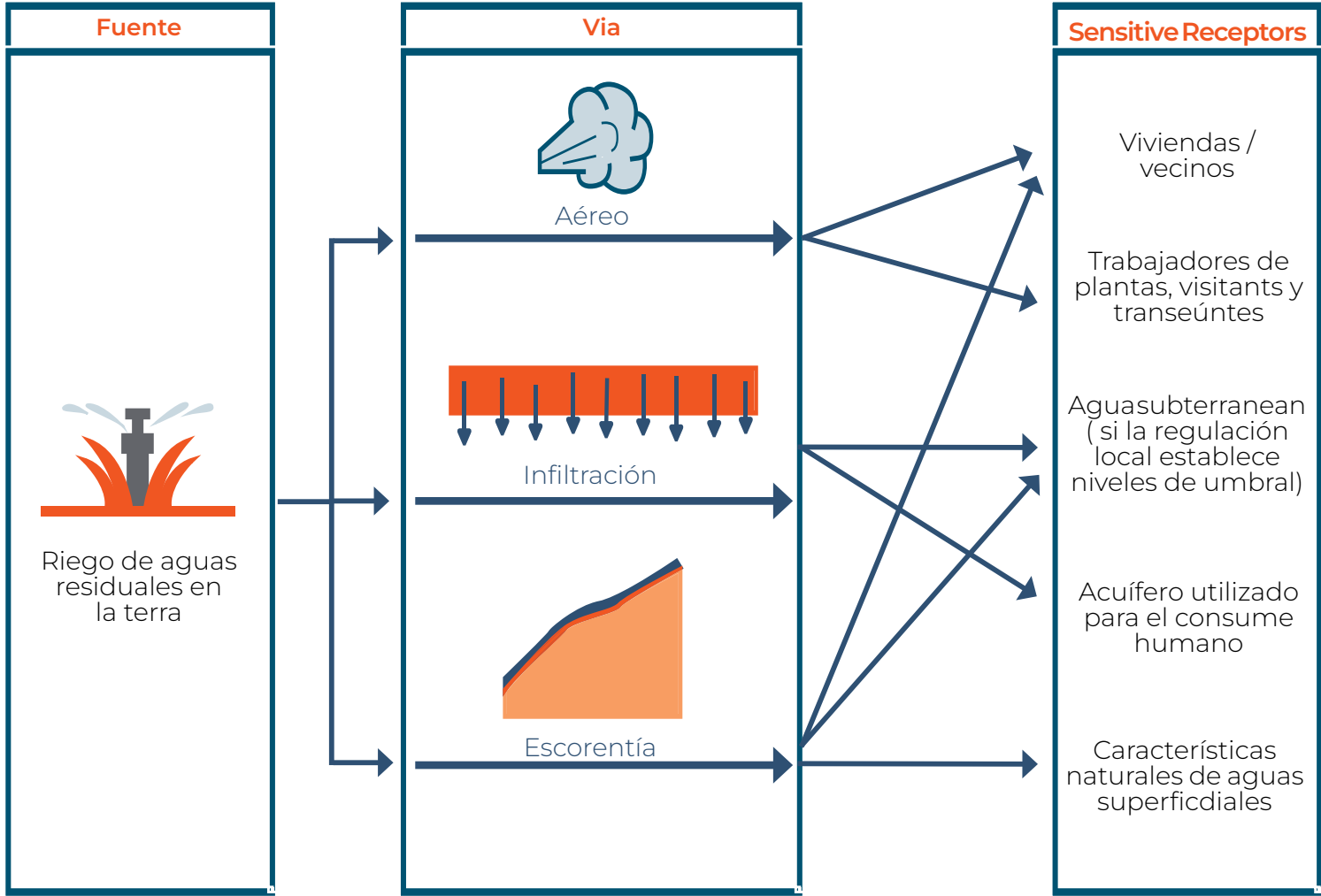
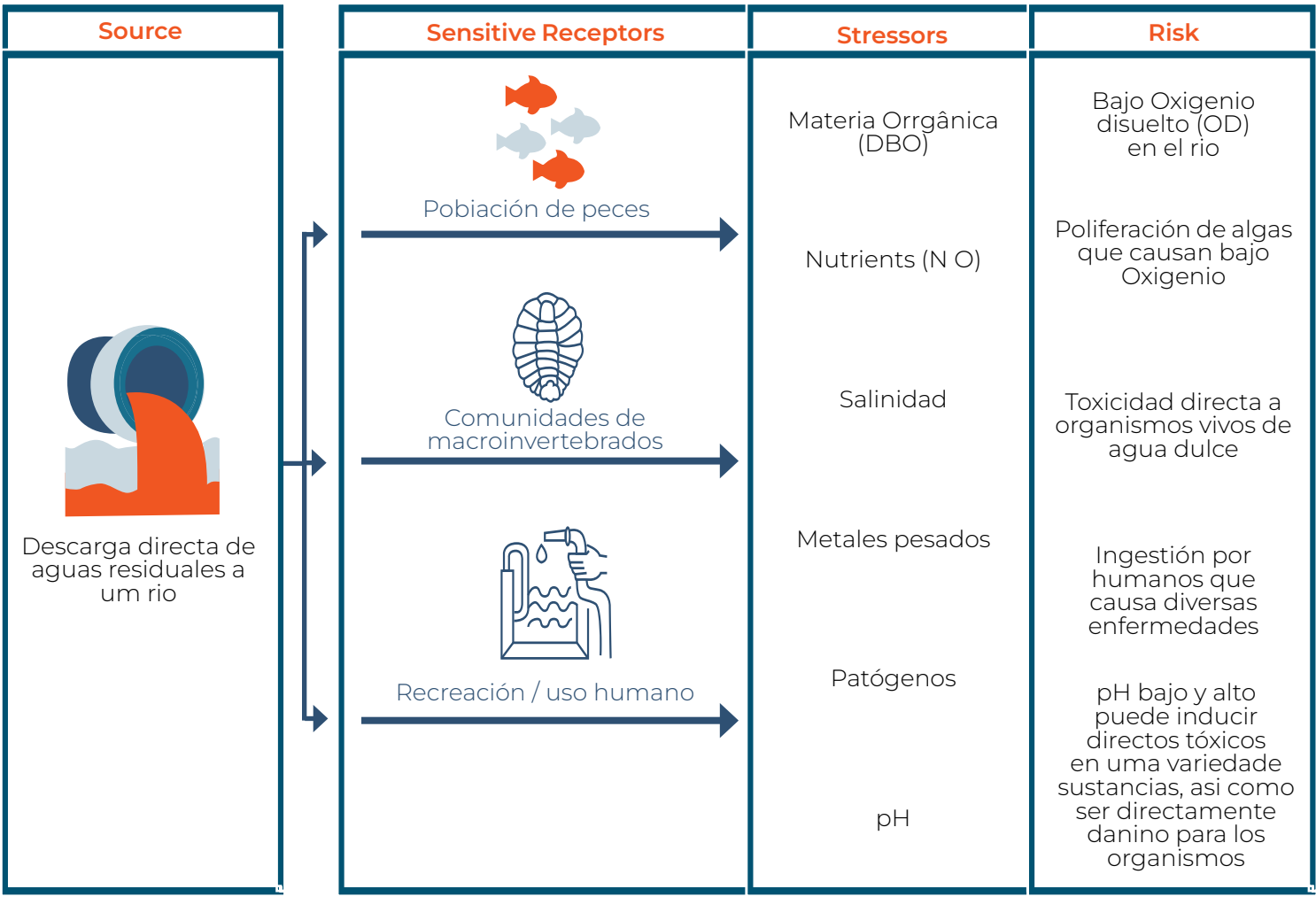


FIGURA 5 Ejemplo de factor estresante y definición de riesgo para un vertido directo a un río



6.5 MONITOREO DE EFLUENTES

6.5.1 PROGRAMA DE SEGUIMIENTO

Desarrollar e implementar un proyecto con recursos suficientes y supervisión de la gestión es esencial para lograr los objetivos de un programa de monitoreo de la calidad del agua y de las aguas residuales. El cual debe abarcar los elementos descritos en las siguientes secciones:

CALIDAD DE DATOS

Se recomiendan programas de monitoreo que cumplan con los protocolos de recolección, preservación y análisis de muestras aprobados internacionalmente. En general, los Métodos Estándar para el Análisis de Aguas y Aguas Residuales. 24ª edición. Washington DC: Prensa APHA; 2023 se sugieren como la mejor metodología analítica para los parámetros de aguas residuales. Los principales parámetros y métodos analíticos para aguas residuales se resumen en la Tabla 8: Parámetros convencionales para aguas residuales adaptados (Directrices sobre aguas residuales de ZDHC, 2022).

La recolección de muestras debe ser realizada por personal capacitado o bajo su supervisión. Adicionalmente, el análisis de las muestras deberá ser realizado por laboratorios autorizados o certificados para este fin particular.

SELECCIÓN DE PARÁMETROS

Al seleccionar los parámetros de monitoreo, es crucial elegir aquellos indicativos de los contaminantes de interes del proceso, incluidos los regulados según los requisitos de cumplimiento.

MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES

El monitoreo de las aguas residuales debe tener en cuenta las características de la descarga del proceso a lo largo del tiempo. Al monitorear las descargas de procesos que involucran fabricación por lotes o variaciones estacionales del proceso, se deben considerar las variaciones en las descargas que dependen del tiempo (por ejemplo, beneficios húmedos de café e ingenios azucareros). Como tal, monitorear dichas descargas es más complejo que monitorear descargas continuas.

Los efluentes de procesos altamente variables pueden necesitar muestreos más frecuentes o métodos compuestos. Tome muestras o, si hay equipo automatizado disponible, utilice muestras compuestas para comprender mejor las concentraciones promedio de contaminantes durante 24 horas. Sin embargo, los muestreadores compuestos pueden no ser adecuados para compuestos de interes de vida corta, como los que se degradan rápidamente o son volátiles (p. ej., GyA y coliformes fecales).

Las regulaciones locales y otros requisitos para monitorear las aguas residuales y la calidad del agua siempre deben ser la mayor prioridad y reemplazar cualquier guía o recomendación general. Si bien la frecuencia de muestreo sugerida puede ser un buen punto de partida, es esencial comprender y cumplir con las regulaciones y requisitos locales establecidos por las agencias reguladoras. Una referencia rápida para los parámetros de control y rendimiento sugeridos para plantas de tratamiento se resume en la Tabla 8.

TABLA 8 Métodos estándar convencionales para análisis y pruebas de parámetros de aguas residuales

Parámetro	Unidad	Métodos estándar (ME) para análisis y pruebas
Alcalinidad	mg/L CaCO3	ME 2320
Amonio-Nitrógeno	mg/L	ME 4500 NH3 – D/E/F/G/H
Demanda Bioquímica de Oxígeno Concentración de 5 días (DBO ₅)	mg/L	ME 5210-B
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	ME 5220-D
Color (436 nm; 525 nm; 620 nm)	m-l	ME 2120B/C/D/E
Conductividad eléctrica	µS/cm	ME 2510
Oxígeno disuelto (OD)	mg/L	ME 4500-OG
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	ME 9221-F/G
Coliformes totales	MPN/100 ml	ME 9221-B
Aceites y grasas	mg/L	ME 5520-B/C
Nitratos	mg (NO3-N)/L	ME 4500-NO3– B/C/D/E/F/H/I/J
pH	pH	ME 4500-H+
Sólidos sedimentables	mL/L	ME 2540F
Sodio (Na+), Calcio (Ca++) y Magnesio (Mg++)	mg/L	ME 3500-Na, 3500-Ca, 3500-Mg
Diferencia de temperatura	°C	ME 2550
Fenoles totales/ Índice de fenoles	mg/L	ME 5530-B/C
Cloro total	mg/L	ME4500-CI-G
Sólidos disueltos totales (SDT)	mg/L	ME 2540-C
Nitrógeno total	mg/L	ME 4500P/J ME 4500N/B ME 4500N/C
Fósforo total	mg/L	ME 4500P-J
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	SM 2540D
Sólidos volátiles suspendidos totales	mg/L	SM 2540E
Turbiedad	UNT	SM 2130B
Ácidos grasos volátiles	mg/L	SM 5560D

LUGARES DE MUESTREO

La selección del lugar de monitoreo debe tener como objetivo proporcionar datos de monitoreo representativos de toda la descarga de aguas residuales. Se podrán colocar estaciones de muestreo de efluentes en el punto de descarga final y en lugares estratégicos aguas arriba antes de mezclar/ unir diferentes descargas. Las descargas del proceso no deben diluirse antes o después del tratamiento para cumplir con los estándares de descarga o de calidad ambiental del agua. La Figura 6 resume una referencia rápida para la ubicación del muestreo en toda la PTAR.

FIGURA 6 Diagrama de flujo genérico para la identificación de puntos de monitoreo de aguas de proceso y aguas residuales.

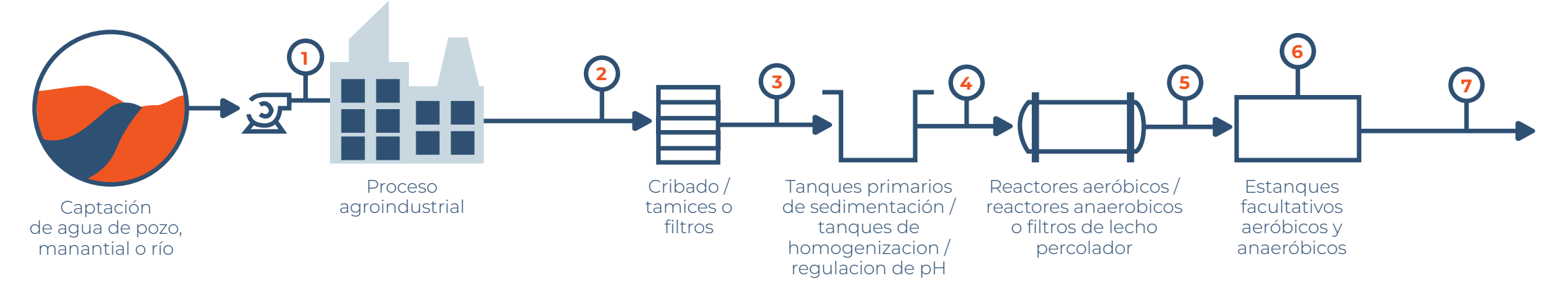


TABLA 9 Descripción de los puntos de muestreo y los requisitos analíticos para muestras de agua de proceso y aguas residuales (para usarse junto con la Figura A-4.1).

Punto de monitoreo	Descripción del punto de monitoreo	Análisis de rendimiento*			Análisis de control (in situ)***			
		Parámetros	Tipo de muestreo	Frecuencia sugerida	Parámetros	Tipo de muestreo	Frecuencia sugerida	Equipo sugerido
1) Agua de proceso de entrada	La principal fuente de agua para el proceso. Por ejemplo, agua de río o agua de pozo.	Temperatura (in situ), conductividad (in situ) y pH (in situ)	Muestra aleatoria/simple (Al menos seis durante la campaña de seguimiento)	Trimestral**	Caudal (m³/día)	Medición directa	A diario	Medidor de agua
		DQO, DBO, SST, fósforo total y nitrógeno total	Compuesto (Al menos seis submuestras)		pH	Toma	Semanalmente	Medidor de pH digital
		Coliformes fecales y GyA	Muestra aleatoria/simple (una muestra durante la campaña de monitoreo)		Turbidez (NTU)	Toma	Semanalmente	Turbidímetro
					SDT (mg/L)	Toma	Semanalmente	Medidor digital de TDS o medidor potable
					Cloro residual (ppm)	Toma	Semanalmente	Comprobador de cloro residual
2) Aguas residuales crudas	Entrada de aguas residuales al sistema de tratamiento (generalmente antes del tamizado o en tanques de almacenamiento de aguas residuales) o antes de su eliminación (si no hay tratamiento)	pH (in situ)	Simple (para cada una de las seis submuestras)	Trimestral**	Caudal (m³/día)		A diario	Medidor de agua
		DQO, DBO y SST. Sólidos volátiles suspendidos totales y alcalinidad.	Compuesto (seis submuestras)		pH	Toma	A diario	Medidor de pH digital
		Coliformes fecales y GyA	Simple		Sólidos sedimentables (mL/L)	Toma	A diario	Cono de Imhoff
					DQO (mg/L)	Toma	A diario	Espectrofotómetro
3) Después de cribas, tamices rotativos o filtros*	Salida de aguas residuales de cribas, tamices rotativos o filtros.	pH (in situ) y Sólidos Sedimentables (in situ).	Simple (para cada una de las seis submuestras)		Sólidos sedimentables (mL/L)	Toma	A diario	Cono de Imhoff
		DQO, DBO y SST.	Compuesto (seis submuestras)		SDT (mg/L)	Toma	A diario	Medidor digital de SDT o medidor potable

Punto de monitoreo	Descripción del punto de monitoreo	Análisis de rendimiento*			Análisis de control (in situ)***			
		Parámetros	Tipo de muestreo	Frecuencia sugerida	Parámetros	Tipo de muestreo	Frecuencia sugerida	Equipo sugerido
4) Tanques de homogeneización, tanques de regulación de pH y tanques de sedimentación primaria*	Salida de aguas residuales de los tanques de homogeneización, tanques de regulación de pH y tanques de sedimentación primaria.	Temperatura (in situ), pH (in situ) y sólidos sedimentables (in situ).	Simple (para cada una de las seis submuestras)	Trimestral*	pH	Toma	A diario	Medidor de pH digital
		DQO, DBO, SST, Nitratos y Alcalinidad.	Compuesto (seis submuestras)		Sólidos configurables (mL/L)	Toma	A diario	Cono de Imhoff
5) Reactores aeróbicos, reactores anaeróbicos o filtros de lecho tricapa*	Salida de aguas residuales de reactores aeróbicos, reactores anaeróbicos o filtros de lecho percolador.	pH (in situ)	Simple (para cada una de las seis submuestras)	Trimestral*	pH	Toma	Semanalmente	Medidor de pH digital
		OD (reactores aeróbicos), DQO, DBO, SST y AGV (reactores anaeróbicos)	Compuesto (seis submuestras)		DQO (mg/L)	Toma	A diario	Espectrofotómetro
					OD (mg/L o %)	Toma	A diario	Medidor de OD
					Temperatura (°C)	Toma	A diario	Termómetro digital
					Flujo de biogás (Reactores anaerobios) (m3/día)	Medición directa	A diario	Medidor de biogás
6) Lagunas aeróbicas, lagunas anaeróbicas o lagunas facultativas	Salida de aguas residuales de Lagunas Aeróbicas, Lagunas Anaeróbicas o Lagunas Facultativas.	pH (in situ)	Simple (para cada una de las seis submuestras)	Trimestral*	pH	Toma	Semanalmente	Medidor de pH digital
		OD (reactores aeróbicos), DQO, DBO, SST y AGV (reactores anaeróbicos)	Compuesto (seis submuestras)		DQO (mg/L)	Toma	A diario	Espectrofotómetro
					OD (mg/L o %)	Toma	A diario	Medidor de OD
					Temperatura (°C)	Toma	A diario	Termómetro digital
7) Efluentes de aguas residuales	En la descarga de aguas residuales	Temperatura (in situ), conductividad (in situ) y pH (in situ).	Simple (para cada una de las seis submuestras)	Trimestral*	Caudal (m³/día)	Directo	A diario	Medidor de agua
		DQO, DBO, SST, Fósforo Total y Nitrógeno Total.	Compuesto (seis submuestras)		pH	Toma	A diario	Medidor de pH digital
		Si se utiliza agua para riego o infiltración, incluir los siguientes análisis: Sodio (Na+), Calcio (Ca++) y Magnesio (Mg++).	Simple		Turbidez (NTU)	Toma	Semanalmente	Turbidímetro
					SDT (mg/L)	Toma	A diario	Medidor digital de SDT o medidor potable
					Cloro residual (ppm)	Toma	A diario	Verificador de cloro residual
					CE (uS/cm)	Toma	A diario	Medidor de conductividad electrónico

* Debe ser muestreado y analizado por un laboratorio certificado externo.

** Para procesos que sean estacionales, considerar realizar el monitoreo mensualmente durante el periodo de trabajo.

*** Parámetros mínimos sugeridos para el análisis de control; se pueden agregar otros parámetros, como SST (mg/L), si el equipo está disponible. Además, considere agregar pruebas de humedad del lodo si es necesario.

7

Revisión de Casos Empresariales de Buenas Prácticas de Gestión de Aguas Residuales dentro del Sector Agroindustrial



7.1 ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN DE LA REVISIÓN DEL CASO DE NEGOCIO

Los procesos agroindustriales generan grandes cantidades de aguas residuales con importantes características contaminantes, como se vio en el último apartado. Por lo tanto, aplicar las mejores prácticas de gestión de aguas residuales es fundamental para mejorar la sostenibilidad ambiental, cumplir con las regulaciones, proteger la salud pública y garantizar el éxito empresarial a largo plazo.

Se administró un cuestionario escrito a diferentes industrias de agronegocios en la región de ALC para obtener información sobre las prácticas actuales de gestión de aguas residuales en el sector de agronegocios. Se analizaron las respuestas al cuestionario y se seleccionaron tres industrias que han aplicado las MPGAR.

Esta sección tiene como objetivo proporcionar una visión general del estado actual de la gestión de aguas residuales en estas industrias e identificar áreas de mejora. A través de esta revisión de casos de negocios, la NBP espera brindar información útil a las partes interesadas del sector agroindustrial, incluidos los propietarios de empresas, para fomentar la adopción de las MPGAR y promover la mejora continua en alianza con operaciones sostenibles.

Cada caso de negocio incluye una breve descripción del proceso, una lista de las MPGAR

para la prevención de la contaminación y el tratamiento de aguas residuales exitosas, una descripción de los controles críticos del proceso y otras oportunidades identificadas en esta revisión.

7.2 CASO 1: PLANTA PROCESADORA DE JUGO DE LIMÓN

7.2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Esta planta procesadora de jugo de limón procesa alrededor de 250 mil toneladas de limones anualmente desde marzo hasta agosto. Esta industria obtiene productos industrializados como aceite, jugo, pulpa y cáscara. El procesamiento involucra varias etapas que utilizan agua, como el lavado, extracción de jugo, extracción de aceite, separación de pulpa y jugo, y limpieza in situ (LIS) del equipo. Las actividades generan cantidades sustanciales de aguas residuales que contienen materia orgánica, azúcares, ácidos y otros contaminantes. Para depurar las aguas residuales, funciona una planta de tratamiento con una capacidad máxima de 8.500 m³/día las 24 horas del día, los siete días de la semana.

7.2.2 MEJORES PRÁCTICAS DE GESTIÓN DE AGUAS RESIDUALES

MPGAR PARA LA PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN IMPLEMENTADAS

- Métodos de limpieza in situ (LIS) para descontaminar equipos.
- Reutilización del agua generada en el condensado de frutas, en el rechazo de los equipos de ósmosis y agua de enfriamiento utilizada en torres y tanques dentro del proceso para minimizar la cantidad de aguas residuales generadas.
- Equipos de control automático en la planta de tratamientoo de aguas residuales para la recopilación, análisis y visualización de datos en tiempo real sobre niveles de agua, caudal, valores de pH y temperatura.
- Inspecciones realizadas en la PTAR mediante la realización de mediciones diarias de parámetros de calidad del agua para control interno. Estas inspecciones implican contar con personal dedicado.
- Medidores de flujo para monitorear el uso de agua e instalación de válvulas solenoides para detener el flujo de agua cuando el equipo no está en funcionamiento y no se requiere agua.
- Reutilización de efluentes para riego del campo de limoneros.

MPGAR PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES IMPLEMENTADAS

- Inicialmente, la PTAR inició sus operaciones empleando únicamente las etapas preliminar y primaria. Durante esta fase se separaron los materiales sólidos a través de filtros estáticos y posteriormente se implementó un proceso fisicoquímico utilizando equipos FAD para reducir los sólidos totales en suspensión y las cargas de DBO. Sin embargo, la necesidad de mejorar aún más la calidad de las aguas residuales motivó la incorporación de dos etapas adicionales, estableciendo así la fase de tratamiento secundario.
- Se hizo necesaria la instalación de un RAFA con una capacidad de 7.500 m3 (tratamiento secundario) para aumentar la eficiencia de eliminación de contaminantes.
- Posteriormente se incorporó una tercera etapa consistente en la instalación de un sistema de lodos activados de 10.000 m3, lo que contribuyó a incrementar la eficiencia del tratamiento y el tamaño del campo de riego. Además, se instaló una caldera de biogás; esto aumentó la eficiencia de eliminación de DQO en el RAFA, ya que el reactor ahora estaba calentado.

7.2.3 CONTROLES Y MONITOREOS CRÍTICOS

- Dado que el agua cruda tiene un pH muy bajo, el uso de altas cantidades de agua de cal es esencial para neutralizar el agua antes de que entre en la etapa anaeróbica.
- El rendimiento de los tratamientos biológicos se ve fuertemente afectado por frecuentes y grandes perturbaciones en el flujo y las cargas del afluente. Por lo tanto, controlar la salida del FAD es un paso crítico para asegurar un tratamiento óptimo en el RAFA.
- Dado que el agua se reutiliza para el riego de los limoneros, el control diario de la calidad del efluente es vital para evitar la contaminación del suelo.

- El análisis de parámetros como la salinidad del suelo, la permeabilidad y los niveles de agua subterránea son adecuados para garantizar que el efluente no cause efectos negativos en la composición del suelo.

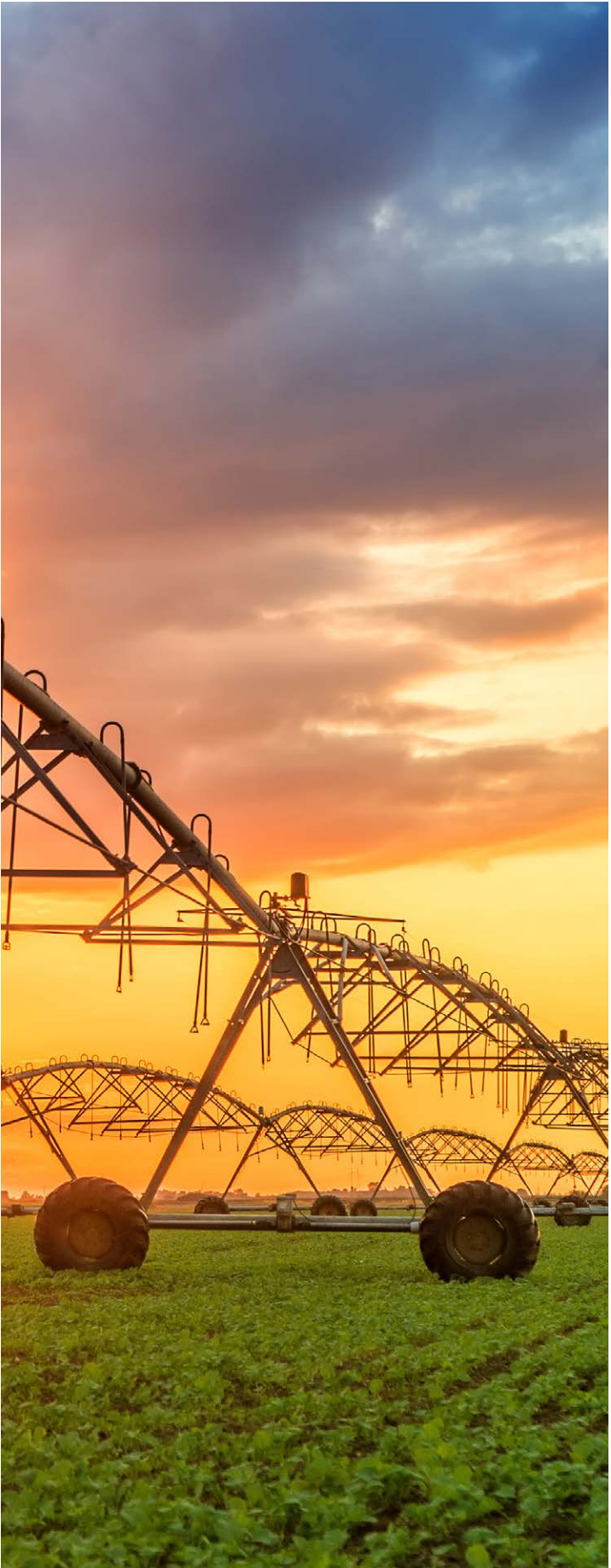
7.2.4 MÁS OPORTUNIDADES

- Dado que el FAD se utiliza como etapa fisicoquímica en el tratamiento de agua, controlar la dosificación de coagulante y floculante y seleccionar los productos químicos adecuados es vital para garantizar la correcta sedimentación de los sólidos en suspensión. La instalación podría evaluar la posibilidad de utilizar productos orgánicos alternativos o menos peligrosos para prevenir la contaminación.
- En el reactor aeróbico, controlar el caudal de aire, la recirculación de lodos y el flujo de purga de lodos es esencial para lograr condiciones operativas óptimas. La reutilización del biogás generado para la cogeneración podría reducir las emisiones de GEI.
- Minimizar el transporte húmedo en las instalaciones mediante el uso de transporte mecánico.
- Instalar unidades de recirculación de agua con filtros, especialmente para procesar agua de lavado.
- Instalar mangueras de alta presión y bajo volumen para la limpieza de equipos.

7.3 CASO 2: EMPRESA DE PROCESAMIENTO AVÍCOLA

7.3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Esta empresa líder en procesamiento avícola genera aguas residuales a partir de la recepción de pollos vivos, sacrificio, evisceración, desinfección/



refrigeración, envasado y almacenamiento. Adicionalmente, cuenta con una planta harinera que procesa distintos residuos generados en el procesamiento de aves, como sangre, plumas, productos no conformes y vísceras no comestibles para la producción de alimentos para animales. El consumo mensual de agua de la empresa ronda los 70.000 m³, y recircula agua para la limpieza de la zona de recepción de pollos vivos. La PTAR tiene una capacidad máxima de 3.000 m³/día.

7.3.2 MEJORES PRÁCTICAS DE GESTIÓN DE AGUAS RESIDUALES

MPGAR PARA LA PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN IMPLEMENTADAS

- La instalación cuenta con recirculación de agua para reutilizarla en actividades de limpieza.
- Los subproductos y residuos sólidos se separan adecuadamente de la corriente hídrica antes de ingresar a la PTAR.
- La instalación cuenta con personal dedicado a supervisar la planta y ha contratado a un analista de laboratorio para mejorar el monitoreo de las operaciones de la planta.
- Nuevas mejoras en los equipos a lo largo del tiempo, incluida la instalación de un tanque de flotación de aire disuelto y el cambio del filtro de placas por un filtro de correa.

MPGAR PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES IMPLEMENTADAS

- Tanque de ecualización con mezclador recibe las aguas residuales de la instalación.
- Un tratamiento preliminar conformado por un tamiz grueso elimina los sólidos de gran tamaño y una trampa de grasas separa las GyA flotantes, la cual se limpia manualmente.
- Un sistema secundario de tres lagunas aireadas con diferentes capacidades ayuda a reducir las cargas orgánicas.
- Un sistema primario, específicamente un tanque de flotación por aire disuelto, recibe el agua y elimina los sólidos en suspensión.
- Un tratamiento terciario compuesto por desinfección con cloro ayuda a que el efluente cumpla con los estándares internacionales antes de su vertido.
- Los lodos se separan y concentran para su eliminación.

7.3.3 CONTROLES Y SEGUIMIENTO CRÍTICOS

- El correcto funcionamiento de la planta de tratamiento depende de una alta frecuencia de limpieza de las cribas y de las GyA en la trampa de grasas para eliminar estos contaminantes antes del tratamiento biológico en las lagunas.
- Es necesario un monitoreo diario de la concentración de oxígeno disuelto en las lagunas aireadas para garantizar niveles correctos de oxígeno y evitar el consumo de electricidad en vano.
- El monitoreo diario del pH y la temperatura previene adecuadamente que valores indeseables afecten a los microorganismos involucrados en el proceso de tratamiento secundario.

- Controlar la dosificación de coagulante y floculante y la correcta selección de productos químicos es vital para asegurar una correcta capacidad de asentamiento de los sólidos en suspensión en los equipos FAD.

7.3.4 MÁS OPORTUNIDADES

- El rendimiento de los tratamientos biológicos se ve fuertemente afectado por las frecuentes y grandes cambios en el caudal afluente. Controlar una correcta homogeneización en el ecualizador y el valor del pH puede ayudar a obtener condiciones óptimas de operación en las lagunas.
- La instalación podría evaluar la selección de productos orgánicos alternativos o menos peligrosos como medida de prevención de la contaminación.

7.4 CASO 3: CRÍA Y PRODUCCIÓN PORCINA

7.4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

Este complejo industrial incluye dos granjas de cría de cerdos con una población de 8.000 cerdos y una granja de cría con una capacidad máxima de aproximadamente 16.000 lechones. En las tres instalaciones se realizan actividades relacionadas con bioseguridad (desinfección de camiones y duchas), limpieza y desinfección de galpones. El amonio cuaternario se utiliza para limpiar, el desprendimiento de heces y el lavado. Las aguas residuales generadas por las actividades de limpieza rondan los 900 m³/día. Su composición comprende altas cargas orgánicas, nutrientes y patógenos. Las heces y el agua de limpieza se dirigen primero a los tanques de almacenamiento y luego se bombean a la PTAR.

7.4.2 MEJORES PRÁCTICAS DE GESTIÓN DE AGUAS RESIDUALES

MPGAR PARA LA PREVENCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN IMPLEMENTADAS

- Control automático de diferentes equipos, incluyendo bombas, electroválvulas, mezcladores y compresores.
- Proceso de lavado en seco en los galpones, donde se recolectan los sólidos para gestionarlos por separado, lo que se traduce en un menor uso de agua para la limpieza posterior.
- Personal dedicado a realizar mediciones mensuales de parámetros de calidad del agua para control interno.

MPGAR PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES IMPLEMENTADAS

- La primera etapa comprende un pretratamiento para la separación de sólidos, que incluye canales de sedimentación y equipos de filtración mecánica.
- Los tratamientos primario y secundario están compuestos por un biodigestor que produce biogás, dos lagunas anaeróbicas, dos tratamientos fisicoquímicos, dos decantadores y un tanque aireado de nitrificación-desnitrificación. Existe un sistema de cloración como etapa terciaria.
- El agua tratada cumple con los criterios de calidad reglamentarios para regar 38 hectáreas de pastos.

7.4.3 CONTROLES CRÍTICOS Y MONITOREO

- La eliminación de sólidos grandes y arenills de las aguas residuales en las unidades de pretratamiento evita dañar los equipos y afectar los procesos posteriores.
- El monitoreo diario del oxígeno disuelto es necesario para garantizar la nitrificación (la oxidación biológica del amoníaco a nitrito y luego del nitrito a nitrato). Será necesaria otra concentración de oxígeno disuelto para asegurar la desnitrificación.
- Monitorear la dosis de desinfectante y el tiempo de contacto para garantizar una desinfección efectiva es fundamental al reutilizar aguas residuales para riego.
- El análisis de parámetros como la salinidad del suelo, la permeabilidad y los niveles de agua subterránea es adecuado para garantizar que el efluente no cause efectos negativos en la composición del suelo.

7.4.4 MÁS OPORTUNIDADES

- Controlar el valor del pH, el nivel del agua y el nivel de gas en el biodigestor es vital para asegurar el correcto funcionamiento del sistema.
- Tener un control de la calidad del efluente al menos una vez por semana ayuda a tomar acciones correctivas en el corto plazo.

7.5 RESUMEN Y APRENDIZAJES DE LOS ESTUDIOS DE CASO

Los métodos de tratamiento híbridos con procesos de tratamiento biológico y fisicoquímico han resultado altamente eficientes en las plantas de tratamiento de aguas residuales de la agroindustria. Por lo general, se implementan tratamientos preliminares, primarios, secundarios y terciarios para garantizar que la calidad del efluente cumpla con los criterios para su eliminación o reutilización.

El método FAD ha demostrado ser eficaz en el tratamiento de aguas residuales de diferentes características generadas por actividades del sector agroindustrial. Su tecnología de burbujas ayuda a eliminar contaminantes difíciles de eliminar, como CyA, materia orgánica y partículas finas que son problemáticas en los procesos de recuperación de agua. Si bien utilizar tratamientos fisicoquímicos cuando el agua tiene altas cargas orgánicas implica utilizar altos volúmenes de coagulantes y polímeros como floculantes, lo que resulta en un alto consumo de productos químicos y un lodo no biodegradable como subproducto, el uso de coagulantes naturales puede ser una oportunidad para evaluar ya que estos compuestos tienden a ser amigables con el ambiente y podrían reemplazar a los químicos peligrosos convencionales como práctica de prevención de la contaminación. Reutilizar el biogás generado en los sistemas anaeróbicos para calentar los reactores es una forma de mejorar la eficiencia general del sistema, ya que la eliminación de DQO aumenta y reduce la necesidad de fuentes de energía externas, genera ahorros de costos y respalda la economía circular al convertir los desechos en un recurso.

Medir los parámetros clave, como pH, DO, temperatura, flujos y SST de estas plantas de tratamiento de aguas residuales, es crucial para garantizar que los sistemas funcionen de manera eficiente y efectiva, ya que estos parámetros brindan información crítica sobre el estado del proceso de tratamiento y el calidad del efluente. Esta práctica permite a los operadores identificar problemas potenciales antes de que se vuelvan significativos, como niveles excesivos de nutrientes o compuestos tóxicos en el efluente.

Como estas aguas residuales contienen altos niveles de contaminantes, el agua tratada se puede reutilizar si se emplea un sistema eficiente de tratamiento de aguas residuales. Cuando la instalación utiliza agua para irrigar, monitorear la salinidad del suelo, la permeabilidad y el nivel del agua subterránea es un control crítico. Este seguimiento implica invertir en equipos y personal para tener datos y tomar medidas si es necesario.



8

Referencias

Alabaster, G., Johnston, R., Thevenon, F., & Shantz, A. (2021). Progress on Wastewater Treatment. United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat) and World Health Organization (WHO).

Benavides, L., Avellán, T., Caucci, S., Hahn, A., Kirschke, S., & Müller, A. (2019). Assessing Sustainability of Wastewater Management Systems in a Multi-Scalar, Transdisciplinary Manner in Latin America. *Water*, 11(2), 249. <https://doi.org/10.3390/w11020249>

Borja, R., & Banks, C. J. (1994). Anaerobic digestion of palm oil mill effluent using an up-flow anaerobic sludge blanket reactor. *Biomass and Bioenergy*, 6(5), 381–389. [https://doi.org/10.1016/0961-9534\(94\)E0028-Q](https://doi.org/10.1016/0961-9534(94)E0028-Q)

Bustillo-Lecompte, C., Mehrvar, M., & Quiñones-Bolaños, E. (2016). Slaughterhouse Wastewater Characterization and Treatment: An Economic and Public Health Necessity of the Meat Processing Industry in Ontario, Canada. *Journal of Geoscience and Environment Protection*, 04(04), 175–186. <https://doi.org/10.4236/gep.2016.44021>

Campos, C. J. A., Morrissey, D. J., & Barter, P. (2022). Principles and Technical Application of Mixing Zones for Wastewater Discharges to Freshwater and Marine Environments. *Water*, 14(8), 1201. <https://doi.org/10.3390/w14081201>

Dhote, L., Kumar, S., Singh, L., & Kumar, R. (2021). A systematic review on options for sustainable treatment and resource recovery of distillery sludge. *Chemosphere*, 263, 128225. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128225>

EPA. (2003). Framework for Cumulative Risk Assessment. https://www.epa.gov/sites/default/files/2014-11/documents/frmwrk_cum_risk_assmnt.pdf

EPA. (2012). 2012 Guidelines for Water Reuse (EPA/600/R-12/618; p. 643). U.S. Environmental Protection Agency. <https://www3.epa.gov/region1/npdes/merrimackstation/pdfs/ar/AR-1530.pdf>

EPA Victoria. (2009). Guidelines For Risk Assessment of Wastewater Discharges to Waterways.

Faisal, M., & Unno, H. (2001). Kinetic analysis of palm oil mill wastewater treatment by a modified anaerobic baffled reactor. *Biochemical Engineering Journal*, 9(1), 25–31. [https://doi.org/10.1016/S1369-703X\(01\)00122-X](https://doi.org/10.1016/S1369-703X(01)00122-X)

FAO. (1992). Wastewater treatment and use in agriculture. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Hung, Y.-T., & Britz, T. J. (2006). Treatment of Dairy Processing Wastewaters.

Igwegbe, C. A., & Onukwuli, O. D. (2019). Removal of Total Dissolved Solids (TDS) from Aquaculture Wastewater by Coagulation- Flocculation Process using Sesamum indicum extract: Effect of Operating Parameters and Coagulation-Flocculation Kinetics.

Martinez-Burgos, W. J., Bittencourt Sydney, E., Bianchi Pedroni Medeiros, A., Magalhães, A. I., de Carvalho, J. C., Karp, S. G., Porto de Souza Vandenberghe, L., Junior Letti, L. A., Thomaz Soccol, V., de Melo Pereira, G. V., Rodrigues, C., Lorenci Woiciechowski, A., & Soccol, C. R. (2021). Agro-industrial wastewater in a circular economy: Characteristics, impacts, and applications for bioenergy and biochemicals. *Bioresource Technology*, 341, 125795. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125795>

Maryland Aquaculture Coordinating Council. (2007). Best Management Practices: A Manual for Maryland Aquaculture.

Najafpour, G. D., Zinatizadeh, A. A. L., Mohamed, A. R., Hasnain Isa, M., & Nasrollahzadeh, H. (2006). High-rate anaerobic digestion of palm oil mill effluent in an upflow anaerobic sludge-fixed film bioreactor. *Process Biochemistry*, 41(2), 370–379. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.06.031>

National Research Council (U.S.) (Ed.). (1993). Managing wastewater in coastal urban areas. National Academy Press.

OCETA. (2005). A review of Wastewater Management and Best Practices for Dischargers in the Food Processing Sector. Ontario Ministry of the Environment.

OECD. (2021). Evaluating Brazil's progress in implementing Environmental Performance Review recommendations and promoting its alignment with OECD core acquis on the environment.

Ohimain, E. I., & Izah, S. C. (2017). A review of biogas production from palm oil mill effluents using different configurations of bioreactors. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 70, 242–253. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.221>

Poh, P. E., & Chong, M. F. (2009). Development of anaerobic digestion methods for palm oil mill effluent (POME) treatment. *Bioresource Technology*, 100(1), 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.06.022>

Rodríguez, C., García, B., Pinto, C., Sánchez, R., Serrano, J., & Leiva, E. (2022). Water Context in Latin America and the Caribbean: Distribution, Regulations, and Prospects for Water

Reuse and Reclamation. Water, 14(21), 3589. <https://doi.org/10.3390/w14213589>

Singh, A. (2021). A review of wastewater irrigation: Environmental implications. Resources, Conservation and Recycling, 168, 105454. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105454>

Sung, H.-N., Katsou, E., Statiris, E., Anguilano, L., & Malamis, S. (2019). Operation of a modified anaerobic baffled reactor coupled with a membrane bioreactor for the treatment of municipal wastewater in Taiwan. Environmental Technology, 40(10), 1233–1238. <https://doi.org/10.1080/09593330.2017.1420102>

Tilley, E., Ulrich, L., Lüthi, C., Reymond, P., & Zurbrügg, C. (2014). Compendium of Sanitation Systems and Technologies (2nd Ed). Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (Eawag).

UNEP. (2005). GUIDANCE FOR TREATED WASTEWATER USE IN IRRIGATION.

US EPA. (1993). Guidance Manual for Developing Best Management Practices. Environmental Protection Agency.

Wang, J., Huang, Y., & Zhao, X. (2004). Performance and characteristics of an anaerobic baffled reactor. Bioresource Technology, 93(2), 205–208. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.06.004>

Wellestein, A., & Makino, M. (2022, November 14). The Latin American climate crisis is also a water crisis. How do we move forward? <https://blogs.worldbank.org/latinamerica/latin-american-climate-crisis-also-water-crisis-how-do-we-move-forward#:~:text=This%20means%20preserving%20watersheds%2C%20safeguarding,more%20effective%20and%20efficient%20use.>

World Bank. (1999). Pollution prevention and abatement handbook, 1998: Toward cleaner production. The World Bank. <https://doi.org/10.1596/0-8213-3638-X>

World Bank Group. (2019). Wastewater? From Waste to Resource in a Circular Economy Context: Latin America and the Caribbean Region.

Yetilmezsoy, K., Ilhan, F., Kiyan, E., & Bahramian, M. (2022). A comprehensive techno-economic analysis of income-generating sources on the conversion of real sheep slaughterhouse waste stream into valorized by-products. Journal of Environmental Management, 306, 114464. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114464>



Anexo 1

Referencias Regulatorias de Aguas Residuales para ALC a Mayo de 2023

CUADRO A-1 Marco legislativo en materia de aguas residuales en América Latina y el Caribe y principales autoridades relacionadas con el marco administrativo institucional de la gestión de aguas residuales.

País	Normas y regulaciones de aguas residuales	Institución
Argentina	Decreto N° 674/89 - Vertidos de Aguas Residuales (1989): Establece un régimen al que se acogen las industrias y establecimientos especiales que produzcan de manera continua o discontinua vertidos de aguas residuales o lodos originados por el tratamiento de los mismos a las alcantarillas, conductos pluviales o a un curso de agua. ; Referencia: https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/decreto-674-1989-16713/texto .	Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible
	Resolución N° 242/93 - Normas para las descargas de establecimientos industriales o especiales amparados por el Decreto N° 674/89 que contengan sustancias peligrosas de naturaleza ecotóxica (1993): Establece las normas que deben regir las descargas de establecimientos industriales o especiales que contengan sustancias peligrosas sustancias que son de naturaleza ecotóxica; Referencia: https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-242-1993-34562/texto	
	Resolución 79179/1990 Referencia: https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-79179-1990-93051/actualizacion	
Belice	SI No. 102 Reglamento de Protección Ambiental (Limitaciones de Efluentes) (Enmienda) (2009): Establece estándares y limitaciones de efluentes para industrias y actividades comerciales; Referencia: https://faolex.fao.org/docs/pdf/blz129031.pdf	Ministerio de Recursos Naturales y Ambiente
Bolivia	Ley N° 2066 - Ley de Provisión de Servicios de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario (2000): Establece las normas que regulan la prestación y uso de los servicios de agua potable y alcantarillado sanitario; Referencia: https://faolex.fao.org/docs/pdf/bol28709.pdf	Ministerio de Ambiente y Agua
	Decreto Supremo N° 24176 - Reglamento de la Ley Ambiental. Reglamento sobre contaminación del agua (1995); Referencia: https://faolex.fao.org/docs/pdf/bol179887.pdf	
Brazil	Resolución N° 503 (2021): Define criterios y procedimientos para la reutilización en sistemas de fertirrigación de efluentes de alimentos, bebidas y lácteos; Referencia: http://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=archivo.download&id=813	Agencia Nacional del Agua (ANA) Ministerio del Ambiente (CONAMA)
	Resolución No 430 (2011): Establece las condiciones y reglas de liberación de efluentes, complementa y modifica la resolución 357 del 17 de marzo; Referencia: https://www.saude.mg.gov.br/images/documentos/RE%20CONAMA%20403-2011_Lancamento%20de%20Efluentes.pdf	
	Modificación de la resolución Conama 357/05 para la Disposición al Mar de Efluentes Sanitarios. Arte. 20. O lançamento de efluentes efetuado por meio de emissários submarinos. Referencia: http://conama.mma.gov.br/index.php?option=com_sisconama&task=documento.download&id=21963	
Chile	Decreto No. 90 - Norma de emisión para la regulación de contaminantes asociados a las descargas de desechos líquidos a aguas superficiales marinas y continentales (2000): Busca prevenir la contaminación de las aguas marinas superficiales y continentales mediante el control de los contaminantes asociados a los desechos líquidos que se vierten a estos cuerpos receptores; Referencia: https://dga.mop.gob.cl/administracionrecursoshidricos/Documents/DTO_90_07_MAR_2001.pdf	Dirección General del Agua (DGA)
	Decreto N° 609 - Regulación de contaminantes asociados a la descarga de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado (2004): Establece norma de emisión para regular los contaminantes asociados a la descarga de residuos industriales líquidos a sistemas de alcantarillado; Referencia: https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=230064&idVersion=2004-09-08	
	Decreto N° 3 - Reglamento para el manejo de lodos de plantas de tratamiento de efluentes de la industria procesadora de frutas y hortalizas (2012): Reglamenta el manejo de lodos de plantas de tratamiento de efluentes; Referencia: https://faolex.fao.org/docs/pdf/chi112978.pdf	
	Decreto N° 46/02 Norma para la Emisión de Residuos Líquidos a las Aguas Subterráneas (2003): Determina las concentraciones máximas de contaminantes que permite descargar la fuente emisora, a través del suelo, a las zonas saturadas de los acuíferos, mediante obras diseñadas para infiltrarse en él; Referencia: https://faolex.fao.org/docs/pdf/chi50299.pdf	

País	Normas y regulaciones de aguas residuales	Institución
Colombia	Decreto N° 3930 - Regula los usos del agua y las descargas de residuos líquidos (2010): Disposiciones relacionadas con los usos del recurso hídrico, la ordenación del recurso hídrico y las descargas al recurso hídrico, al suelo y al alcantarillado; Referencia: https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=40620#:~:text=Fija%20las%20zonas%20en%20las,superficiales%2C%20subterr%C3%A1neas%2C%20o%20puertos deportivos	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible
	Resolución N° 631 - Parámetros y valores límite máximos permisibles en descargas puntuales a cuerpos de agua superficiales y sistemas públicos de alcantarillado (2015): Establece parámetros y valores límite máximos permisibles de descargas a cuerpos de agua y sistemas públicos de alcantarillado y dicta otras disposiciones; Referencia: https://fenavi.org/wp-content/uploads/2018/05/Resolucion-631-2015.pdf	
	Resolución N° 330 - Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento (2017); Referencia: https://minvivienda.gov.co/normativa/resolucion-0330-2017-0	
	Resolución N° 1256 Regula el uso de aguas residuales y adopta otras disposiciones (2021) por la cual se regula el uso de aguas residuales y se adoptan otras medidas; Referencia: https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/12/Resolucion-1256-de-2021.pdf	
Costa Rica	Decreto N° 33601-S-MINAE - Reglamento de Descarga y Reutilización de Aguas Residuales (2006): Tiene como objetivo proteger la salud pública y el ambiente, a través de una gestión ambientalmente racional de las aguas residuales; Referencia: http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?nValor1=1&nValor2=59524	Ministerio de Ambiente y Energía
	Decreto N° 42128 - Reglamento del Canon Ambiental de Descargas a Aguas (2019): Regula la tarifa por el uso del recurso hídrico para la descarga de sustancias contaminantes que se denominará Canon Ambiental de Descargas; Referencia: http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=90961&nValor3=120004&strTipM=TC	Ministerio de Salud
República Dominicana	Reglamento ambiental sobre control de vertidos a aguas superficiales, alcantarillado sanitario y aguas costeras (2012); Referencia: https://ambiente.gob.do/files/Norma-Ambiental-sobre-Control-de-Descargas-a-Aguas-Superficiales-alcantarillado-sanitario-y-aguas-costeras.pdf	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
	Normativa ambiental sobre la calidad de las aguas superficiales y costeras (2012); Referencia: https://ambiente.gob.do/files/Norma-Ambiental-de-Calidad-de-Aguas-Superficiales-y-Zonas-Costeras.pdf	
Ecuador	Texto unificado de Legislación Secundaria de Ambiente - Decreto Ejecutivo N° 3516: Establece las políticas ambientales básicas del Ecuador; Anexo 1. del Libro VI del texto unificado de la legislación secundaria del Ministerio del Ambiente: Calidad ambiental y vertido de efluentes a los recursos hídricos Norma (2015): Establece reglas generales para el vertido de efluentes al sistema de alcantarillado e incluye límites máximos , también regula los criterios de calidad del agua para uso agrícola o de riego. Referencia: https://www.gob.ec/sites/default/files/regulations/2018-09/Documento_Registro-Oficial-No-387-04-noviembre-2015_0.pdf	Ministerio de Ambiente
	Acuerdo Ministerial N° 097/A: Anexo I. Norma de calidad ambiental y descarga de efluentes: Establece los principios básicos y enfoque general para el control de la contaminación del agua Referencia: http://www.quitoambiente.gob.ec/images/Secretaria_Ambiente/Documentos/calidad_ambiental/normativas/acuerdo_ministerial_97a.pdf	
El Salvador	Acuerdo N° 249 - NSO 13.49.01:09 sobre características de las aguas residuales vertidas a un cuerpo receptor (2009): Establece las características y valores físico-químicos, microbiológicos y radiactivos permisibles que deben presentar las aguas residuales para proteger y rescatar el cuerpo receptor. cuerpos; Referencia: https://faolex.fao.org/docs/pdf/els87596.pdf	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
	Decreto No. 39 - Reglamento especial de aguas residuales (2019): Tiene por objeto garantizar que las aguas residuales no alteren la calidad de los medios receptores para contribuir a la recuperación, protección y uso sostenible de los recursos hídricos frente a los efectos de la contaminación; Referencia: https://cidoc.marn.gob.sv/documentos/reglamento-especial-de-aguas-residuales-decreto-n-39/	
	RTS 13.05.01:18 Aguas residuales, parámetros de calidad de aguas residuales para descarga y gestión de lodos de depuradora (2020): Establece límites permisibles para los parámetros de calidad de aguas residuales y sus lodos; Referencia: https://members.wto.org/crnattachments/2018/SPS/SLV/18_6511_00_s.pdf	
Guatemala	Acuerdo Gubernativo N° 236/06 (2006) - Regulación de los Vertidos y Reúso de Aguas Residuales y disposición de lodos: Autoriza y define los límites de reúso de agua para riego agrícola, riego de cultivos comestibles, riego de acuicultura, pastos y otros cultivos y reutilización recreativa; Referencia: https://www.anacafe.org/uploads/file/04e16f7fbff3466584ed340e5be0d362/Acuerdo-Gubernativo-236-2006.pdf	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
	Acuerdo Ministerial N° 105-2008 - Manual General para la Regulación de la descarga y reúso de aguas residuales y disposición de lodos (2008): Tiene por objeto la implementación del Reglamento establecido por el Acuerdo N° 236/06; Referencia: https://www.vestex.com.gt/uploads/medioambiente/regulaciones/Manual-General-del-RARL.pdf	
	Acuerdo Gubernativo No. 51 (2010) - Regulación de la descarga de aguas residuales en la cuenca del Lago Atitlán y sus alrededores: Establece los parámetros y límites máximos permisibles para la descarga de aguas residuales a los cuerpos de agua de la cuenca del Lago Atitlán, ya sea directa o indirectamente para salvamento, proteger y prevenir la contaminación del sistema hídrico; Referencia: https://www.anacafe.org/uploads/file/e35acc5284e344748928ad5d283e6a67/Acuerdo-Gubernativo_12-2011.pdf	
Honduras	Acuerdo No. 58-96 - Normas técnicas para descargas de aguas residuales a cuerpos receptores y alcantarillado sanitario (1997): Regula las descargas de aguas residuales a cuerpos de agua y alcantarillado sanitario; Referencia: https://faolex.fao.org/docs/pdf/hon175670.pdf	Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente (SERNA)
	Acuerdo N° 467-2017 - Norma Técnica Transitoria para el reúso de aguas residuales generadas por la agroindustria azucarera para riego en cultivos de caña de azúcar (2017): Establece los valores límite máximos permisibles de contaminantes para aguas residuales generadas en procesos de industrialización de la caña de azúcar que son reutilizadas en riego de áreas cultivadas de caña de azúcar; Referencia: https://faolex.fao.org/docs/pdf/hon176145.pdf	
	Decreto N° 003-2020 - Reglamento nacional de descarga y reúso de aguas residuales (2020): Regula a toda entidad que opera en el territorio nacional que realiza actividades que generan descargas de aguas residuales y lodos provenientes de sistemas de tratamiento de aguas residuales; Referencia: https://www.tsc.gob.hn/web/leyes/Acuerdo_Ejecutivo-003-2020.pdf	

País	Normas y regulaciones de aguas residuales	Institución
Jamaica	Reglamento 2013 (SI No. 69A de 2013): Proporciona el marco para la operación de las instalaciones de tratamiento, su monitoreo y los mecanismos de presentación de informes requeridos, así como cuestiones relacionadas con el cumplimiento y un sistema de tarifas de descarga; Referencia: https://www.nepa.gov.jm/sites/default/files/2021-12/Wastewater-and-Sludge-Regulations-2013.pdf	Ministerio de Agua, Tierra, Ambiente y Cambio Climático
México	Normas para los Programas de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento y Tratamiento de Aguas Residuales de la Comisión Nacional del Agua (2016). Referencia: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5421649&fecha=29/12/2015#gsc.tab=0 Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996: Establece límites máximos permisibles de contaminantes en aguas residuales vertidas a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal (1998); Referencia: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4881304&fecha=03/06/1998#:~:text=NORMA%20Oficial%20Mexicana%20NOM%2D002,que%20dice%3A%20Estados%20Unidos%20Mexicanos. Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997: Establece los límites máximos permisibles de contaminantes de aguas residuales tratadas y reutilizadas en servicios públicos para proteger el ambiente y la salud de la población; Referencia: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/311363/NOM_003_SEMARNAT.pdf Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021 (2021): Establece los límites permisibles para efluentes los cuales se basan en la naturaleza del cuerpo receptor donde se descargan: ríos, arroyos, canales y drenajes; embalses, lagos y lagunas, zonas y fondos marinos; Referencia: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle_popup.php?codigo=5645374	Comisión Nacional del Agua (CONAGUA)
Nicaragua	Decreto No 21-2017 - Reglamento que establece las disposiciones para la descarga de aguas residuales (2017): Regula y establece límites máximos de calidad del agua para descargar a sistemas de alcantarillado y cuerpos de agua, dependiendo de la actividad que produce los residuos; Referencia: http://www.inaa.gob.ni/sites/default/files/inline-files/Decreto%2021-2017.pdf Norma técnica N° NTON 05 031-07 - Norma técnica para el reaprovechamiento de efluentes de aguas residuales de la industria azucarera y destilerías de alcohol para el riego de plantaciones de caña de azúcar (2007); Referencia: http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/(\$All)/B648272FD35AB76D062577A6005C6332?OpenDocument Norma técnica N° NTON 05 028-06 - Norma técnica ambiental para la protección de cuerpos de agua afectados por derrames de líquidos y sólidos provenientes del beneficio húmedo de café procesado (2006); Referencia: http://legislacion.asamblea.gob.ni/normaweb.nsf/9e314815a08d4a6206257265005d21f9/363673e06aa24f4b0625757e0061d6d2?OpenDocument Norma Técnica Nicaragüense Obligatoria sobre el diseño de lagunas de precisión y lagunas aireadas (1999): Establece los criterios y las bases técnicas para el diseño de lagunas de estabilización y lagunas aireadas para el tratamiento de aguas residuales de origen municipal; Referencia: https://faolex.fao.org/docs/pdf/nic23128.pdf	Autoridad Nacional del Agua (ANA) El Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARE-NA) Ministerio de Fomento, Industria y Comercio
Panamá	Resolución No. 49 - Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 24-99 Reúso de Aguas Residuales Tratadas (2000): Establece los límites máximos microbiológicos, físicos y químicos, requisitos y los procesos de tratamiento a utilizar en aguas para consumo animal, riego, recreación y estética. , vida acuática y acuicultura, uso urbano, recarga de acuíferos, restauración de hábitat y uso industrial y minero; Referencia: https://www.asep.gob.pa/wp-content/uploads/agua/legislacion/dgnti_24-99.pdf Resolución No. 350 - Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 39-2000 sobre descarga de efluentes líquidos directamente a los sistemas de alcantarillado (2000): Aprueba el reglamento técnico que establece las características que deben cumplir las descargas de efluentes líquidos de actividades domésticas, comerciales e industriales. directamente a los sistemas de alcantarillado de aguas residuales; Referencia: https://www.asep.gob.pa/wp-content/uploads/agua/legislacion/dgnti_39-2000.pdf Resolución No. 351 - Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 35-2000-Descarga de efluentes líquidos directamente a cuerpos de agua y masas de agua superficiales y subterráneas (2000): Establece las características que deben cumplir los efluentes para descargarlos a sistemas de alcantarillado colector, generados a partir de aguas domésticas, actividades comerciales e industriales; Referencia: https://www.asep.gob.pa/wp-content/uploads/agua/legislacion/dgnti_35-2000.pdf sus modificaciones realizadas en la Resolución No. 10, Resolución No. 193, Resolución No. 332 y Resolución No. 276. Resolución No. 352 - Reglamento Técnico DGNTI-COPANIT 47-2000-Uso y Disposición Final de Lodos (2000): Establece los límites máximos permisibles, los requisitos para los métodos de tratamiento, y el confinamiento, muestreo y tipo de análisis para lodos; Referencia: https://www.asep.gob.pa/wp-content/uploads/agua/legislacion/dgnti_47-2000.pdf	Ministerio de Comercio e Industrias
Paraguay	Ley N° 5428 - De efluentes cloacales (2015): Regula el tratamiento, depuración, descarga, control y supervisión de los efluentes cloacales antes de su descarga final a los cuerpos receptores; Referencia: https://www.bacn.gov.py/leyes-paraguayas/8189/ley-n-5428-de-efluentes-cloacales Resolución N° 770/14 - Normas y Procedimientos para los Sistemas de Gestión y Tratamiento de Efluentes Líquidos Industriales de Obligatorio Cumplimiento para Complejos Industriales (2014): Normas que regulan el funcionamiento de los sistemas de gestión y tratamiento de efluentes líquidos industriales, cuyo cumplimiento es de obligatorio cumplimiento para la industria. Referencia: http://www.mades.gov.py/wp-content/uploads/2019/05/Resoluci%C3%B3n-N%C2%BA-770_14-Efluentes-Liquidos-Industriales.pdf	Secretaría del Ambiente Ente Regulador de Servicios Sanitarios (ERSSAN)
Perú	Decreto Supremo N° 001-2010-AG (2010): Regula el reúso de aguas residuales. Referencia: https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/marcolegal/normaslegales/decretossupremos/2010/ds01-2010-ag.pdf Resolución N° 274-2010-ANA - Medidas para la implementación del Programa de Adecuación y Reúso de Descargas de Aguas Residuales (2010): Establece las medidas para la implementación del Programa de Adecuación de Descargas y Reúso de Aguas Residuales (PAVER), cuyo objeto es la adecuación a las disposiciones de la Ley de Recursos Hídricos de las descargas y reúso de aguas residuales; Referencia: https://faolex.fao.org/docs/pdf/per94255.pdf Decreto Supremo N° 005-2011-AG (2011): Reglamenta el reúso de aguas residuales tratadas por persona distinta al propietario del sistema de tratamiento para proteger y preservar la calidad de las fuentes naturales de agua; Referencia: https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/marcolegal/normaslegales/decretossupremos/2011/ds05-2011-ag.pdf N° 004-2017-MINAM (2017): Reglamenta las normas de calidad ambiental del agua; Referencia: https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2017/06/DS-004-2017-MINAM.pdf	Autoridad Nacional del Agua (ANA) Ministerio de Ambiente Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego
Trinidad y Tobago	LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL, CAPÍTULO 35:05 - REGLAS DE CONTAMINACIÓN DEL AGUA (2019): Estas Reglas establecen los procedimientos y principios de solicitud de un permiso para liberar contaminantes del agua dentro de los niveles permisibles y la evaluación de la solicitud de solicitud por parte de la Autoridad; Referencia: https://faolex.fao.org/docs/pdf/tri209647.pdf	Ministro de Planificación y Desarrollo
Uruguay	Decreto N° 253/979 - Reglamento para prevenir la contaminación ambiental mediante el control de las aguas (1979): Normas para prevenir la contaminación ambiental mediante el control de la contaminación del agua. Referencia: https://www.impo.com.uy/bases/decretos/253-1979	Dirección Nacional del Agua (DINAGUA)
Venezuela	Decreto N° 883 - Dicta las Normas para la clasificación y control de calidad de los cuerpos de agua y descargas líquidas o efluentes (1995): Establece las normas para la calidad de los cuerpos de agua y descargas líquidas. Referencia: https://faolex.fao.org/docs/pdf/ven174040.pdf Resolución No. 31 - Normas sobre efluentes líquidos (1985): Dicta dos grupos diferentes de normas de calidad que deben cumplir los efluentes de un número determinado de fuentes bien identificadas si son vertidos a) a cuerpos de agua ob) a redes de alcantarillado. Referencia: https://faolex.fao.org/docs/pdf/ven3797.pdf	Ministerio del Poder Popular para el Ambiente

A

Anexo 2

Contexto Regulatorio de Tres Países Clave

México, Brasil y Honduras son tres países latinoamericanos que han logrado avances significativos en la regulación de aguas residuales en las últimas décadas. En la siguiente sección se ofrece una visión general del progreso de cada país en esta área.

A. México

El marco regulatorio de aguas residuales deriva de la legislación relacionada con el agua y la ley ambiental de México. La Ley de Aguas Nacionales de 1992, que fue modificada por última vez en 2020, es la legislación principal que regula el uso y eliminación de aguas residuales. Esta ley regula efectivamente la prevención y el control de la contaminación del agua. La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) es responsable de hacer cumplir las regulaciones relacionadas con la descarga de aguas residuales y regular, controlar, proteger y utilizar sustentablemente las aguas de México. El Programa Nacional para la Gestión Integral de los Recursos Hídricos incluye medidas para mejorar el tratamiento y reutilización de las aguas residuales. El Marco Institucional para la Gestión del Agua comprende varias agencias gubernamentales federales, estatales y locales. En 2012, se reformó la Constitución mexicana para incluir el derecho fundamental a la regulación de las aguas residuales.

México ha establecido y mantenido un programa extenso y detallado de monitoreo de aguas residuales. Además de generar datos e informar sobre el progreso anual, las autoridades mexicanas han utilizado estos datos para informar la estrategia, la inversión, la focalización y la planificación del sector. En consecuencia, se han logrado avances significativos y consistentes en el aumento de la cobertura de alcantarillado y aguas residuales tratadas de manera segura (Alabastro et al., 2021).

Recientemente se reformó la NOM-001-SEMARNAT para ampliar sus conceptos y alcance. La nueva norma federal, publicada en marzo de 2023, actualiza varios aspectos, incluidas especificaciones, métodos de prueba, muestreo, parámetros de temperatura, medición de toxicidad, procedimiento de evaluación de la conformidad, clasificación de los cuerpos receptores y enfoque de uso posterior. La actualización tiene como objetivo mejorar la gestión y protección de los cuerpos de agua y garantizar el cumplimiento de la ley que establece que toda persona tiene derecho a acceder, disponer y desinfectar el agua para consumo personal y doméstico de manera suficiente, saludable, aceptable y asequible. (SEMARNAT, 2022). Los límites permisibles para DBO, sólidos sedimentables y coliformes fecales ahora se establecen según la naturaleza del cuerpo receptor. Esta norma también incluye regulaciones para la disposición de aguas residuales en aguas

costeras y disposición en el suelo, incluyendo la infiltración y reutilización para riego.

B. Brasil

Brasil ha establecido una legislación integral sobre información ambiental, gestión de agua y residuos, y biodiversidad. La Agencia Nacional del Agua (ANA, en su acrónimo portugués), responsable de hacer cumplir las regulaciones de gestión de aguas residuales, supervisa varias leyes y regulaciones que rigen la gestión de aguas residuales. Estas leyes incluyen la Ley de Política Nacional de Recursos Hídricos, la Política Nacional de Saneamiento, la Política Nacional de Recursos Hídricos y la Política Nacional Ambiental, que delimitan responsabilidades para la formulación de políticas hídricas en todos los niveles de gobierno y establecen mecanismos de coordinación y participación pública (OCDE, 2021). El Marco Institucional para la gestión del agua comprende varias agencias gubernamentales federales, estatales y locales.

Un avance notable en la última década fue la revisión de la Ley Nacional de Saneamiento en 2007, que proporcionó directrices para los planes municipales de saneamiento y exigió a los municipios que proporcionaran servicios de saneamiento esenciales, incluido el tratamiento de aguas residuales. Además, Brasil adoptó los Objetivos de Desarrollo Sostenible en 2015 para proporcionar acceso universal a agua potable y saneamiento seguros y asequibles para 2030. Para lograr este objetivo, Brasil ha implementado varios programas e iniciativas para mejorar el acceso al saneamiento, incluido el programa “Saneamiento para Todos”. En 2017, Brasil estableció el Sistema Nacional de Gestión de Recursos Hídricos, que

promueve la gestión integrada de los recursos hídricos y proporciona un marco para la asignación y el uso de los recursos hídricos, incluidas las aguas residuales (OCDE, 2021).

Si bien Brasil ha establecido parámetros máximos de descarga de aguas residuales en la Resolución nº 430 de 2011, se pueden hacer excepciones siguiendo metas progresivas y análisis de riesgo del cuerpo receptor, incluido el estudio de su capacidad y concentraciones de efectos no observados. La reutilización de aguas residuales para riego está regulada por la Resolución N° 503 de 2021, que exige el cumplimiento de mediciones y estudios de parámetros previos al riego, como capacidad de infiltración del suelo y estudios SAR.

Brasil también ha fortalecido sus regulaciones sobre residuos sólidos, incluida la promulgación de la Política de Residuos Sólidos en 2010, que exige la gestión ambientalmente racional de los residuos sólidos, incluidos los lodos de aguas residuales. Desde hace varios años, la Compañía de Saneamiento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), la empresa de agua y aguas residuales del Distrito Capital de Brasil, viene reutilizando biosólidos de las operaciones de sus plantas de tratamiento de aguas residuales para recuperar áreas degradadas en sus áreas de operación ferroviaria y agricultura (Grupo del Banco Mundial, 2019, p. 019).

C. Honduras

Honduras ha experimentado cambios significativos en su gestión de aguas residuales durante las últimas dos décadas. El país ha

implementado nuevas leyes, regulaciones y políticas para abordar el tema de la gestión de aguas residuales de manera más efectiva. En 2003, Honduras adoptó la Ley del Sector Agua y Saneamiento, que sirvió como base para el proceso de modernización del sector. Esta ley reajustó el marco legal e institucional del sector al separar las funciones principales (regulaciones, planificación y asistencia técnica) de la prestación de servicios. También creó el Consejo Nacional de Agua Potable y Saneamiento (CONASA) y el Ente Regulador de los Servicios de Agua Potable y Saneamiento (ERSAPS). Esta ley fue parte de un proceso de descentralización estatal ya que otorgó la propiedad de los servicios a los municipios en lugar de que el gobierno central continuara como proveedor de servicios a través de ANASA (Mairena et al., 2011).

En 2010, la República de Honduras implementó una ley integral de aguas para salvaguardar sus recursos hídricos y garantizar su sostenibilidad a largo plazo. Esta legislación sentó las bases para un marco integrado para la gestión de los recursos hídricos, incluidas disposiciones para la gestión de aguas residuales. Posteriormente, en 2016, el gobierno de Honduras formuló la Política Nacional de Aguas Residuales para mejorar la gestión de aguas residuales a nivel nacional. Además, Honduras ha emprendido importantes esfuerzos de fortalecimiento institucional para reforzar su capacidad de gestión de aguas residuales. Más recientemente, en 2020, se aprobó el Reglamento Nacional de Vertimiento y Reúso de Aguas Residuales para regular a las entidades dedicadas a actividades que generan aguas residuales y lodos provenientes de sistemas de tratamiento de aguas residuales.

En 2021 se alcanzó un acuerdo legislativo en el que el proceso se puede realizar por etapas, con plazos de implementación de las medidas preventivas. Se establecieron tres métodos para fijar los límites de vertimiento: mediante un enfoque de riesgo según la calidad del agua que se vierte, según la mejor tecnología disponible y el porcentaje de remoción alcanzado. Además, el mismo acuerdo aclara que la autoridad competente tendrá la última palabra sobre la calidad requerida para la reutilización de aguas residuales. Estas medidas demuestran el compromiso del gobierno hondureño de fortalecer su capacidad institucional para sostener sus recursos hídricos y al mismo tiempo minimizar el impacto ambiental de sus actividades económicas.

A

Anexo 3

Informacion adicional para desarrollar un procedimiento de evaluación de riesgos de descarga

TABLA A-3.1 Criterios clave de calidad de las aguas residuales para la evaluación de riesgos y justificación de uso

Criterios clave	Condición de cumplimiento	Referencia	Razón fundamental
Calidad de las aguas residuales			
pH del efluente	6.5-8.4	(EPA, 2012)	El pH afecta la disponibilidad de nutrientes y reduce los problemas de estructura del suelo.
Eliminación de GyA	< 5 mg/L	N / A	Prevenir la obstrucción del suelo y daños a la vegetación.
Eliminación de sólidos brutos	Ninguno	(EPA, 2012)	Prevenir la obstrucción del suelo. Una malla de 5 mm es estándar.
Concentraciones de metales pesados	Cloruro, < 30 mg/L Amoníaco, < 30 mg/L como N Aluminio, < 5 mg/l Arsénico, < 0,1 mg/l Berilio, < 0,1 mg/l Boro, < 0,5 mg/l Cadmio, < 0,01 mg/l Cromo, < 0,1 mg/l Cobalto, < 0,05 mg/l Cobre, < 0,2 mg/l Fluoruro, < 1 mg/l Hierro, < 5 mg/l Plomo, < 5 mg/l Litio, < 2,5 mg/l Manganeso, < 0,4 mg/l Molibdeno, < 0,01 mg/l Níquel, < 0,2 mg/l Selenio, < 0,02 mg/l Vanadio, < 0,01 mg/l Zinc, < 4 mg/l	(EPA, 2012; PNUMA, 2005)	Evitar contaminar irreversiblemente el sitio de riego a largo plazo.
Calidad de las aguas residuales			
Conductividad eléctrica y relación de adsorción de salinidad	Depende del tipo de suelo y otras características del sitio que deben evaluarse individualmente. Como referencia, según la EPA, una CE máxima para evitar la reducción de la infiltración es de 3,0 Deci siemens por metro (dS/m), junto con una SAR máxima de entre 20 y 30.	(EPA, 2012)	Prevenir la pérdida de permeabilidad del suelo.
Carga de DBO	Depende del tipo de suelo y otras características del sitio y debe evaluarse mediante modelos de transporte de contaminantes específicos del sitio.	N / A	Prevenir la obstrucción del suelo: una indicación de la efectividad del tratamiento biológico y el potencial indirecto de rebrote bacteriano en los sistemas de distribución.

TABLA A-3.2 Directrices para la interpretación de la calidad de las aguas residuales para riego (PNUMA, 2005)

Posible problema de riego	Unidades	Grado de restricción de uso		
		Ninguno	Ligera a moderada	Severo
Salinidad				
CE _w	dS/m	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
o				
SDT	mg/L	< 450	450 - 2000	> 2000
Infiltración				
SAR = 0 - 3 y CE	dS/m	> 0.7	0.7 - 0.2	> 0.2
3-6		> 1.2	1.2 - 0.3	>0.3
6-12		> 1.9	1.9 - 0.5	> 0.5
12-20		> 2.9	2.9 - 1.3	> 1.3
20-40		> 5.0	5.0 - 2.9	> 2.9
Toxicidad iónica específica				
Sodio (Na)				
Riego superficial	RAE	< 3	3 - 9	> 9
Riego por aspersión	yo/yo	< 3	> 3	
Cloruro (Cl)				
Riego superficial	yo/yo	< 4	4 - 10	> 10
Riego por aspersión	yo/l	< 3	> 3	
Boro (B)	mg/L	< 0.7	0.7 - 3.0	> 3.0
Efectos varios				
Nitrógeno (NO3 -N) ³	mg/L	< 5	5 - 30	> 30
Bicarbonato (HCO ₃)	me/l	< 1.5	1.5 - 8.5	> 8.5

TABLA A-3.3 Directrices de calidad microbiológica recomendadas para el uso de aguas residuales en la agricultura (OMS, 1989)

Categoría	Condición de reutilización	Grupo expuesto	Nematodos intestinales (media aritmética del número de huevos por litro)	Coliformes fecales (n° de media geométrica por 100 mL)	Se espera que el tratamiento de aguas residuales alcance la calidad microbiológica requerida.
A	Riego de cultivos susceptibles de ser consumidos crudos, campos deportivos, parques públicos	Trabajadores, consumidores, público.	≤1	≤1000	Una serie de balsas de estabilización diseñadas para conseguir la calidad microbiológica indicada o un tratamiento equivalente.
B	Riego de cultivos de cereales, cultivos industriales, cultivos forrajeros, pastos y árboles.	Trabajadores	≤1	No se recomienda ningún estándar	Retención en estanques de estabilización durante 8 a 10 días o eliminación equivalente de helmintos y coliformes fecales.
C	Riego localizado de cultivos de categoría B si no se produce exposición de los trabajadores y del público	Ninguno	No aplica	No aplica	Pretratamiento según lo requiera la tecnología de riego, pero no menos que la sedimentación primaria.

A

Anexo 4 **Lineamientos a considerar al contratar consultores en evaluación de riesgos o expertos en la materia.**

Al contratar a un consultor externo o un experto en la materia para realizar la evaluación de riesgos de las descargas de aguas residuales, hay varias consideraciones importantes que se deben recordar. Una evaluación de riesgos integral y bien ejecutada es crucial para identificar peligros potenciales, evaluar su importancia y desarrollar estrategias efectivas de gestión de riesgos. A continuación se enumeran algunas consideraciones generales para garantizar una evaluación de riesgos exitosa:

EXPERIENCIA Y CALIFICACIONES

Asegúrese de que el equipo de consultoría tenga la experiencia y las calificaciones pertinentes en ingeniería ambiental, gestión de aguas residuales, toxicología, hidrogeología y metodologías de evaluación de riesgos. Es posible que solo se necesite una persona capacitada para realizar la evaluación de riesgos en el caso de evaluaciones de riesgos bien definidas y de alcance relativamente limitado. Por el contrario, se requiere un equipo de evaluación de riesgos para evaluaciones de riesgos más complejas, ya que una sola persona rara vez puede proporcionar el alcance o la experiencia necesarios (EPA Victoria, 2009). El equipo de consultoría debe estar compuesto por al menos un experto competente con experiencia en la supervisión de procedimientos de evaluación de riesgos. Además, el equipo puede beneficiarse al incluir especialistas con experiencia, como hidrogeólogos, hidrólogos, geólogos y biólogos, cuya experiencia puede contribuir a una evaluación completa. El equipo consultor debe demostrar su experiencia en producción más limpia y mitigación de la contaminación dentro de procesos agroindustriales, centrándose específicamente en la gestión de aguas residuales, tecnologías de tratamiento de aguas residuales y eliminación de lodos. Sería ventajoso el dominio de las políticas y los estándares de desempeño del Banco Mundial, al igual que la capacidad de emplear modelos para proyectar escenarios de exposición. Además, una sólida historia de participación exitosa en proyectos análogos mejoraría aún más las calificaciones del equipo.

RECOGIDA Y ANÁLISIS DE DATOS

El equipo de evaluadores de riesgos debe tener un plan sólido para la recopilación de datos y poder analizarlos de manera efectiva para identificar riesgos potenciales. Al realizar una evaluación de riesgos de descargas de aguas residuales en vías fluviales, es necesario recopilar y combinar todos los datos e información disponibles sobre cómo se utiliza y valora el agua y como se podría afectar debido a las aguas residuales. Podría involucrar datos de monitoreo, detalles de modelos, investigaciones realizadas anteriormente, revisiones de literatura existente, cualquier incidente pasado de contaminación y planes y estrategias locales. Al realizar una evaluación de riesgos para el uso de aguas residuales tratadas en riego o infiltración, el equipo necesita recopilar e integrar toda la información y los datos disponibles para determinar si la tierra elegida para el riego puede manejar las aguas residuales, incluida la recopilación de datos de modelos de aguas subterráneas, hallazgos de estudios anteriores. investigaciones, revisiones de la literatura existente e incluso realizar análisis (o evaluaciones) in situ para comprender el estado del agua subterránea y las capas del suelo en ese lugar específico. Estas evaluaciones in situ pueden implicar analizar el perfil del suelo, realizar pruebas de infiltración e instalar pozos de monitoreo. El equipo debería ser capaz de identificar los peligros potenciales asociados con las descargas de aguas residuales, incluidos los contaminantes químicos, los contaminantes biológicos y los impactos físicos en los ecosistemas. Esta información debería proporcionar una base sólida para identificar y definir riesgos potenciales.

PARTICIPACIÓN DE LAS PARTES (PERSONAS) INTERESADAS

Una evaluación de riesgos eficaz debe abarcar la participación y el involucramiento activo de diversas partes interesadas, incluidas, entre otras, las comunidades locales, los organismos reguladores, los administradores de recursos naturales, las organizaciones no gubernamentales (ONG) y los representantes de los sectores agroindustriales. El equipo consultor debe tener un enfoque planificado y un diálogo continuo con las partes interesadas para colaborar y considerar sus inquietudes (EPA Victoria, 2009).

CUMPLIMIENTO NORMATIVO

El equipo consultor debe conocer bien las regulaciones ambientales locales y nacionales y en las regulaciones sobre cómo se pueden descargar las aguas residuales en el área donde se lleva a cabo la evaluación. Conocer estas regulaciones garantizará que la evaluación cumpla con los requisitos locales.

ESTRATEGIAS DE COMUNICACIÓN Y MITIGACIÓN

La comunicación efectiva es crucial para el equipo de consultoría, ya que es esencial comunicar de manera clara y comprensible los hallazgos de la evaluación a las partes interesadas pertinentes. Además, el equipo debería poder comunicar información científica compleja a no expertos. El equipo consultor también debe proponer estrategias realistas y alcanzables para gestionar y reducir los riesgos en función de los resultados de la evaluación. El objetivo principal de estas estrategias debe ser la reducción o eliminación eficiente de los riesgos identificados.

A

Anexo 5 Solicitud de evaluación de riesgos de descarga

PLANTA PROCESADORA DE CARNE, ESTUDIO DE CASO: EFECTO DEL VERTIDO DE UNA PLANTA PROCESADORA DE CARNE EN LAS CONDICIONES FISICAS Y QUIMICAS DEL AGUA COSTERA (ESTUDIO REALIZADO POR CAMPOS ET AL., 2022)

Se llevó a cabo una evaluación de riesgos de la vía de descarga para determinar el impacto de la descarga de aguas residuales de una planta procesadora de carne en la calidad del agua costera. La evaluación incluyó una revisión de la calidad del agua de la descarga

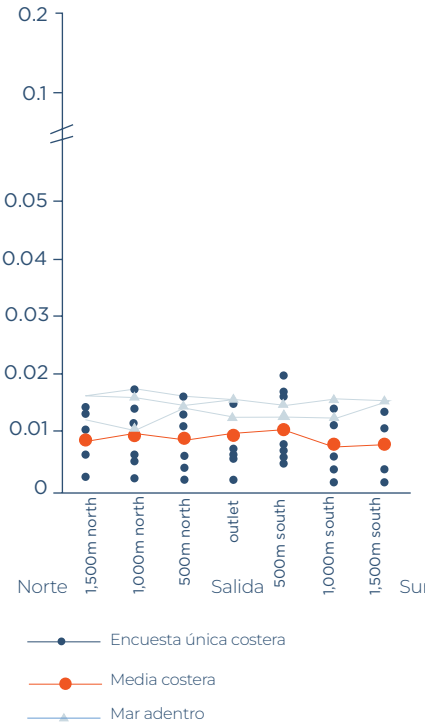
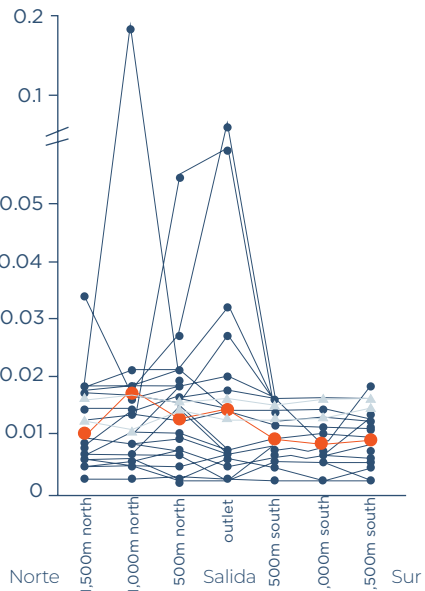
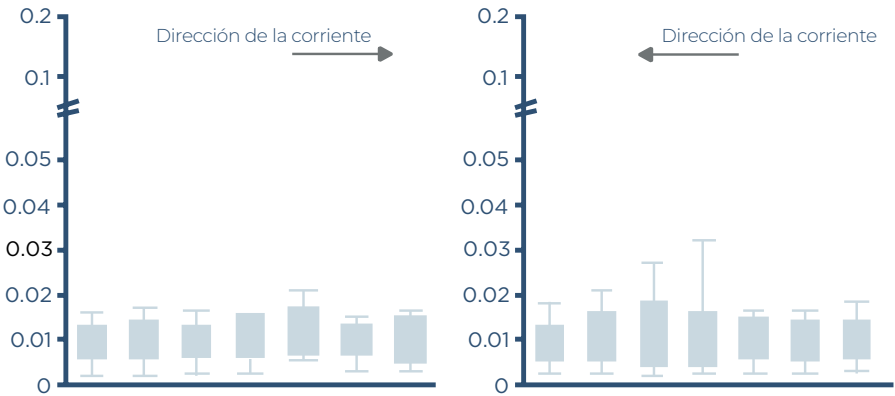
y un área muestreada de la ZMD autorizada de 1500 m, que es la zona de mezcla designada. Los parámetros revisados incluyeron pH, salinidad, color, concentración de coliformes fecales, sólidos suspendidos totales, fósforo total, nitrógeno total y oxígeno disuelto.

El estudio no reveló ningún impacto detectable consistente de la descarga en la calidad del agua superficial, excepto efectos menores en la temperatura del agua dentro de la ZMD. La variación de temperatura entre el borde de la zona de mezcla y la temperatura ambiente del agua en los límites de la ZMD fue de dentro de un °C. No superó los dos °C en ningún muestreo.

Para evaluar la posible actividad biológica resultante de la descarga, se revisaron marcadores de nutrientes (fósforo reactivo disuelto, nitrógeno amoniacal y nitrógeno Kjeldahl total) en el área muestreada dentro de la ZMD. Los picos de nutrientes observados no afectaron significativamente la actividad biológica medida, como la clorofila-a. Sin embargo, los cambios en la actividad biológica no se notarían inmediatamente cerca del sitio del emisario debido al desfase entre la exposición a mayores concentraciones de nutrientes y el crecimiento y reproducción del fitoplancton. La contaminación bacteriana fue elevada y se extendió más allá del límite de 1.500 m de la zona de mezcla. Las concentraciones de coliformes fecales y enterococos fueron consistentemente más altas corriente abajo del emisario e incluso mayores en el límite corriente abajo de la zona de mezcla que en el límite corriente arriba, lo que sugiere que el impacto del emisario sobre estas variables se extiende más allá de la ZMD.

También se llevó a cabo un estudio visual de la columna, que mostró que los efectos visuales de la columna eran frecuentemente visibles en imágenes aéreas y de satélite y se observó que se extendían más allá de la zona de mezcla en múltiples ocasiones. Aunque el seguimiento del color de Hazen por parte de la planta de procesamiento no detectó ningún efecto visual, en al menos el 40% de las imágenes analizadas todavía era visible una columna de humo en imágenes de satélite y aéreas. La columna visible era muy variable y, en tres de las 33 imágenes analizadas, se extendía más allá del borde de la zona de mezcla. Las imágenes sugieren que el monitoreo cercano a la costa puede no representar de manera efectiva la calidad óptica del agua dentro de la columna de descarga.

FIGURA A-4.1 Concentraciones de fósforo reactivo disuelto (PRD) en agua de mar dentro de la zona de mezcla de la descarga de la planta procesadora de carne bajo corriente que fluye hacia el norte (izquierda) y hacia el sur (derecha) fluye. Los diagramas de caja y bigotes (arriba) indican valores medianos y cuartiles superior e inferior (cuadro gris). Los bigotes se establecieron con un valor de factor de 1,5.(Campos et al., 2022)



FIGURAA-4.2 La imagen del satélite Landsat 8 (hora de EE.UU.:19 de febrero de 2015) muestra un penacho difuso que se extiende hacia el sur, ligeramente más allá del límite de la zona de mezcla.





Glossario y Términos Clave

Ácido graso: Cualquiera de una clase de lípidos formados por ácidos orgánicos que tienen la fórmula general $R.COOH$

Acuicultura: La producción gestionada de peces o mariscos en un acuífero de estanque o laguna. Formación geológica subterránea que contiene una gran cantidad de agua.

Aerobio: Condición caracterizada por la presencia de oxígeno libre.

Afluente: Agua o aguas residuales que fluyen hacia una cuenca o planta de tratamiento.

Agua gris: Toda el agua doméstica que no sea sanitaria, incluidos lavabos, bañeras y duchas.

Agua subterránea: Agua subterránea que se encuentra en estratos de rocas porosas y en suelos.

Aireación: La adición, generalmente mecánica, de aire u oxígeno al agua o aguas residuales para aumentar los niveles de oxígeno disuelto y mantener las condiciones aeróbicas.

Aireación mecánica: La agitación mecánica del agua para promover la mezcla con el aire atmosférico.

Anaeróbico: Condición caracterizada por la ausencia de oxígeno libre.

Bacterias coliformes: Grupo de bacterias con forma de bastón que viven en los intestinos de los humanos y otros animales de sangre caliente y se eliminan en su material fecal, y cuya presencia en el agua indica que el agua ha recibido contaminación de origen intestinal.

Base: (1) Una sustancia que puede aceptar un protón. (2) Una sustancia que puede reaccionar con un ácido para formar una sal. (3) Una sustancia alcalina.

Biogás: Los gases producidos por la descomposición anaeróbica de la materia orgánica.

Biorreactor de membrana (MBR): Una modificación del proceso de tratamiento de aguas residuales de lodos activados empleando filtración por membranas en lugar de clarificadores secundarios convencionales.

Cámara de arena: Una cámara de sedimentación que elimina la arena de los sólidos orgánicos mediante sedimentación o agitación en espiral inducida por aire.

Carga orgánica: La cantidad de materia orgánica aplicada a un proceso de tratamiento de osmosis. Movimiento del agua de una solución diluida a una solución más concentrada a través de una membrana permeable que separa las dos soluciones.

Coagulante: Una sustancia química que se agrega inicialmente para desestabilizar, agregar y unir coloides y emulsiones para mejorar la sedimentabilidad, filtrabilidad o drenaje.

Coagulación: La desestabilización y agregación inicial de sólidos suspendidos finamente divididos mediante la adición de un polielectrolito o un proceso biológico.

Clarificador: Tanque de reposo utilizado para eliminar sólidos suspendidos mediante sedimentación por gravedad. También se les llama

cuenas de sedimentación o decantación. Suelen tener una cadena móvil accionada por motor o un rastrillo para recoger los lodos sedimentados y trasladarlos a un punto de eliminación final.

Coloide: Sólido suspendido con un diámetro inferior a una micra que no puede eliminarse únicamente mediante sedimentación.

Compostaje: Proceso de estabilización basado en la descomposición aeróbica de la materia orgánica en lodos por bacterias y hongos.

Compuestos orgánicos volátiles (COV): Compuestos orgánicos altamente evaporativos que se encuentran a menudo en pinturas, disolventes y productos similares.

Contaminante: Cualquier componente extraño presente en otra sustancia.

DBO5: DBO carbonosa o inhibida por nitrificación de cinco días.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) Una medida estándar de la concentración de las aguas residuales que cuantifica el oxígeno consumido en un período determinado, generalmente cinco días y a 20°C.

Demanda química de oxígeno (DQO): Medición de materia orgánica biodegradable y no biodegradable (refractaria), ampliamente utilizada para medir la concentración de aguas residuales domésticas e industriales.

Detergente: Agente de lavado sintético que ayuda a eliminar la suciedad y el aceite y puede contener compuestos que matan bacterias útiles y estimulan

el crecimiento de algas cuando están presentes en las aguas residuales que llegan a las aguas receptoras.

Digestión anaeróbica: Proceso de estabilización de lodos en el que la materia orgánica de los lodos biológicos se convierte en metano y dióxido de carbono en un reactor hermético. Disminución: Reducir el grado o la intensidad de la contaminación o eliminarla.

Emisor directo: Una instalación municipal o industrial que introduce contaminación a través de un medio o sistema definido, como tuberías de salida; una fuente puntual.

Descargar: La liberación de cualquier contaminante, por cualquier medio, al ambiente.

Eliminación: La descarga, depósito, inyección, vertimiento, derrame, fuga o colocación de cualquier residuo líquido o sólido en la tierra o el agua para que pueda ingresar al ambiente o ser emitido al aire.

Ecualización de flujo: Almacenamiento transitorio de aguas residuales para su liberación a un sistema de alcantarillado o proceso de tratamiento a una velocidad controlada para proporcionar un flujo razonablemente uniforme.

Efluente: Aguas parcial o totalmente tratadas o aguas residuales procedentes de cuenca o planta depuradora.

Efluente final: El efluente del proceso de tratamiento unitario final en una planta de tratamiento de aguas residuales.

Electrocoagulación: Un proceso de tratamiento de aguas residuales con corriente continua para precipitar metales pesados con hidróxidos ferrosos como hidróxidos metálicos.

Escherichia coli (E. coli): Las bacterias coliformes de origen fecal se utilizan como organismo indicador para determinar la contaminación de las aguas residuales.

Escorrentía superficial: Precipitación, deshielo o riego más de lo que puede infiltrarse en la superficie del suelo y almacenarse en pequeñas depresiones superficiales.

Eliminación al océano: La descarga o eliminación de desechos o lodos en el agua del océano.

Estanque de evaporación: Un estanque natural o artificial que se utiliza para convertir la energía solar en calor para lograr la evaporación.

Eutrificacion: Enriquecimiento de nutrientes del agua, provocando un crecimiento excesivo de las plantas acuáticas y una eventual desoxigenación del cuerpo de agua.

Evaluación de riesgos: Evaluación cualitativa y cuantitativa del riesgo que representa para la salud humana, el ambiente o ambos por la el uso y/o la presencia real o petncial de contaminantes. contaminantes específicos.

Evaporación: Proceso en el que el agua se convierte en vapor que se puede condensar.

Laguna facultativa: Laguna o estanque donde se produce la estabilización de las aguas residuales debido a bacterias aeróbicas, anaeróbicas y facultativas.

Fertirrigación: La inyección de fertilizantes utilizados para mejorar el suelo, mejorar el agua y otros productos solubles en agua en un sistema de riego.

Filtro biológico: Lecho de arena, piedra u otro medio a través del cual fluyen aguas residuales dependiendo de la acción biológica para su efectividad.

Filtro percolador biológico: Sistema de tratamiento de olores en el que el aire se depura con líquido recirculante que fluye sobre materiales de embalaje de alta porosidad cubiertos con una fina película de microbios oxidantes de azufre.

Filtrar: Dispositivo que utiliza un material granular, tela tejida u otro medio para eliminar sólidos suspendidos del agua, aguas residuales o aire.

Floculante: Un polielectrolito orgánico utilizado solo o con sales metálicas para mejorar la formación de flóculos y aumentar la resistencia de la estructura del flóculo.

Floculación: Agitar o agitar suavemente para acelerar la aglomeración de partículas y mejorar la sedimentación o flotación.

Flora: Plantas y vida vegetal de una región o período particular.

Flotación por aire disuelto (DAF): La clarificación del material floculado por contacto con burbujas diminutas, lo que luego hace que la masa de aire/flóculo se eleve a la superficie, dejando agua clarificada. El uso de un gas distinto del aire se denomina “flotación por gas disuelto” o “DGF”.

Flujo medio diario (FMD): el flujo total que pasa por un punto durante un período dividido por el número de días de ese período.

Flujo promedio: El promedio aritmético de los flujos medidos en un punto dado.

Fosforoso: (1) Un elemento químico no metálico con el símbolo químico P. (2) Un nutriente esencial para todas las formas de vida cuya sobreabundancia puede contribuir a la eutrofización de una masa de agua.

Fuga: (1) Una especie iónica en el efluente de un intercambiador de iones generalmente indica agotamiento del lecho. (2) La pérdida incontrolada de agua de un tanque o acuífero.

Humedales: Áreas superficiales, incluidos pantanos, marismas y turberas, que se inundan o saturan con agua subterránea con suficiente frecuencia

como para sustentar una prevalencia de vegetación adaptada a la vida en condiciones de suelo saturado.

Índice de calidad del agua: El Índice de Calidad del Agua, a veces llamado WQI por sus siglas en inglés, resume y presenta datos sobre la calidad del agua como un número que va del 1 al 100, donde un número más alto indica una mejor calidad del agua.

Infiltración: (1) Agua que ingresa a un sistema de alcantarillado a través de tuberías de alcantarillado, conexiones de servicio o paredes de orificios de mantenimiento rotas o defectuosas. (2) Movimiento de aire inducido por el viento hacia un edificio a través de aberturas en paredes, puertas o ventanas.

Inhibidor: Una sustancia química que interfiere con una reacción química.

In situ: Métodos de tratamiento o eliminación que no requieran el movimiento de material contaminado.

Irrigación: La aplicación artificial de agua para satisfacer las necesidades de crecimiento de plantas o césped que la lluvia por sí sola no satisface.

Línea Base: Una muestra utilizada como punto de referencia comparativo al realizar pruebas o cálculos adicionales.

Limpieza in situ (LIS): Un método para limpiar un medio filtrante o una membrana para restaurar su rendimiento sin sacarlo del sistema.

Mejores prácticas de gestión de aguas residuales (MPGAR): Los cronogramas de actividades, métodos, medidas y otras prácticas de gestión aceptadas en la industria para prevenir la contaminación de las aguas y facilitar el cumplimiento de las regulaciones aplicables.

Metales pesados: Metales que pueden precipitarse con sulfuro de hidrógeno en una solución ácida y pueden ser tóxicos para los humanos por encima de ciertas concentraciones.

Microgramo(µg): Unidad de masa igual a una millonésima parte de un gramo

Miligramos por litro(mg/L): Unidad común de

medida de la concentración de un material en solución.

Monitoreo de pozos: Medición mediante instrumentos in situ o métodos de laboratorio de la calidad del agua en un pozo.

Nitrato: Forma estable y oxidada de nitrógeno que tiene la fórmula NO3–.

Nitrógeno: Elemento gaseoso incoloro e inodoro que constituye el 78% de la atmósfera terrestre y es un constituyente de todos los tejidos vivos combinados. La fórmula química es N.

Oxígeno disuelto (OD):El oxígeno disuelto en un líquido.

Oxidación: (1) Una reacción química en la que un elemento o ion pierde electrones. (2) La conversión biológica o química de la materia orgánica en formas más simples y estables.

Permeabilidad: Propiedad de un medio filtrante de permitir que un fluido pase a través de él bajo la influencia de la presión.

Pozo: Un eje o agujero perforado, perforado o impulsado cuya profundidad es mayor que la dimensión de superficie más grande.

Pozo de monitoreo: Pozo utilizado para obtener muestras de análisis o medir niveles de agua subterránea.

Prueba de infiltración: Una prueba utilizada para determinar la capacidad de absorción de agua del suelo donde se mide la caída del nivel del agua en un pozo de prueba durante un período de tiempo fijo, también llamada “prueba perc”.

Proceso biológico: Las actividades metabólicas de las bacterias y otros microorganismos descomponen materiales orgánicos complejos en sustancias simples y más estables.

Tratamiento posterior: Tratamiento de aguas tratadas o residuales para mejorar aún más su calidad.

Pretratamiento: (1) El proceso inicial de tratamiento de agua o aguas residuales que

precede a los procesos de tratamiento primario; (2) El tratamiento de desechos industriales para reducir o alterar las características de los contaminantes antes de su descarga a una EDAR.

Reactor: El recipiente o tanque donde ocurre una reacción química o biológica.

Residual: Cantidad de un contaminante que queda en el ambiente después de un proceso natural o tecnológico, incluido el lodo que queda después del tratamiento inicial de aguas residuales y las partículas que quedan en el aire después de pasar por un proceso de depuración u otro tratamiento.

Reutilización indirecta: El uso beneficioso del agua recuperada después de liberarla para su almacenamiento o dilución en aguas superficiales naturales o subterráneas.

Revisión preliminar: Recopilar y revisar la información disponible sobre un sitio o liberación de desechos conocido o sospechado.

Salmonela: Bacteria aeróbica patógena para los seres humanos y asociada principalmente con la intoxicación alimentaria.

Sedimentación: La eliminación de sólidos suspendidos sedimentables del agua o aguas residuales por gravedad en un recipiente inactivo o clarificador.

Séptico: Condición caracterizada por la descomposición bacteriana en condiciones anaeróbicas.

Sólidos disueltos: Sólidos en una solución que no se pueden eliminar mediante filtración con un filtro de 0,45 micrones.

Sólidos suspendidos (SS): Sólidos capturados por filtración a través de una estera de lana de vidrio o una membrana filtrante de 0,45 micras.

Solidos totales (TS): La suma de sólidos disueltos y suspendidos en agua o aguas residuales; Materia que queda como residuo tras la

evaporación de 103 a 105°C.

Sólidos suspendidos totales (SST): La medida de partículas suspendidas en una muestra de agua o aguas residuales. Después de filtrar una muestra de un volumen conocido, el filtro se seca y se pesa para determinar el residuo retenido.

Sólidos suspendidos volátiles (SSV): Contenido orgánico de sólidos suspendidos en agua o aguas residuales determinado después de calentar una muestra a 600°C.

Sulfuro de hidrógeno: Gas tóxico formado por la descomposición anaeróbica de materia orgánica que contiene azufre; la fórmula química es H2S.

Tratamiento aeróbico: Proceso mediante el cual los microbios descomponen compuestos orgánicos complejos en presencia de oxígeno y utilizan la energía liberada para la reproducción y el crecimiento.

Tratamiento biológico: Una tecnología de tratamiento que utiliza bacterias para consumir residuos orgánicos.

Torre de enfriamiento: Un dispositivo de recirculación de agua abierto que utiliza ventiladores o corriente natural para aspirar o forzar el aire ambiental a través del dispositivo para enfriar el agua tibia por contacto directo.

Tanque de descarga: Un tanque en el que se almacena agua para su liberación rápida.

Trampa de grasa: Un recipiente recoge la grasa y la separa del flujo de aguas residuales.

Tratamiento físico: Un proceso de tratamiento de agua o aguas residuales que utiliza únicamente métodos físicos como filtración o sedimentación.

Tratamiento secundario: El tratamiento de aguas residuales mediante oxidación biológica tras el tratamiento primario.

Tanque de sedimentacion: Tanque de reposo utilizado para eliminar sólidos suspendidos por

sedimentación por gravedad, también llamados clarificadores o balsas de sedimentación; Por lo general, están equipados con un mecanismo de rastrillo accionado por motor para recoger los lodos sedimentados y trasladarlos a un punto de descarga central.

Turbiedad: Una medición cualitativa de la claridad del agua resultante de la materia suspendida que se dispersa o interfiere de otro modo con el paso de la luz a través del agua.



@idbinvest
www.idbinvest.org