# Guía para no operadores sobre sistemas de aguas residuales



RCAP

**RURAL COMMUNITY ASSISTANCE PARTNERSHIP**

un proveedor y empleador que ofrece
igualdad de oportunidades

## Agradecimientos

Esta guía fue actualizada y redactada por RCAP y sus socios regionales con fondos de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) en el marco de la subvención RST Treatment Works Area 2 2023-2026. Las declaraciones, resultados, conclusiones y recomendaciones son de los autores, y no reflejan necesariamente los puntos de vista de los financiadores. Esta guía se actualizó con base en un manual creado en colaboración con el Programa de Asistencia Técnica y Capacitación para la Comunidad de los Apalaches (ACTAT). La información contenida en esta publicación tiene solamente fines educativos. La referencia a productos o nombres comerciales se hace con el entendimiento de que no se pretende hacer ninguna discriminación o aval.

Agradecemos a RCAP Solutions, Great Lakes Community Action Partnership y Communities Unlimited por proporcionar las fotografías utilizadas en este manual.

RCAP es operado por personal a nivel nacional, una junta directiva y una red de socios regionales en todo el país. Para obtener más información sobre RCAP y su misión, visite www.rcap.org.

© 2026 Rural Community Assistance Partnership Incorporated. Todos los derechos reservados.

# Tabla de contenido


**Introducción ..... 7**

Por qué la gestión de aguas residuales es importante ..... 7

Cómo se organizan los sistemas comunitarios de aguas residuales ..... 8

Responsabilidades de liderazgo y resiliencia a largo plazo ..... 9

El papel esencial del operador de aguas residuales ..... 9

**Cómo se regulan las aguas residuales y qué se está regulando ..... 11**

Contaminantes adicionales de interés ..... 12

**Cómo se recolectan y transportan las aguas residuales ..... 15**

De la casa a la alcantarilla ..... 15

Sistemas de recolección comunitarios ..... 15

Sistemas de recolección convencionales por gravedad ..... 15

Sistemas de recolección alternativos ..... 17

Conclusiones clave: Sistemas de recolección ..... 19

**Cómo se tratan las aguas residuales ..... 21**

Ciclo de tratamiento de aguas residuales ..... 21

Tratamiento preliminar (eliminación de residuos grandes y gravilla) ..... 22

Cribado ..... 22

Trituración ..... 23

Eliminación de gravilla ..... 23

Ecualización de flujo ..... 23

Conclusiones clave: Tratamiento preliminar ..... 24

Gestión de residuos sépticos ..... 25

Control de olores ..... 25

Consideraciones comerciales e industriales ..... 25

Tratamiento primario (separación de sólidos) ..... 26

Tratamiento secundario (tratamiento de contaminantes orgánicos) ..... 26

Sistemas de crecimiento en suspensión: Lodos activados ..... 27

Variaciones de la tecnología de lodos activados ..... 29

Aireación prolongada ..... 29

Reactores secuenciales por lotes ..... 29
Zanjas de oxidación ..... 30
Sistemas de crecimiento adheridos ..... 30
Sistemas combinados de crecimiento adherido y crecimiento en suspensión ..... 33
Conclusiones clave: Tratamiento secundario ..... 33
Desinfección (garantizar la seguridad antes de la descarga) ..... 33
Cloración ..... 34
Ozonización ..... 36
Radiación ultravioleta ..... 36
Tratamiento avanzado/terciario (si se requiere eliminación y filtración de nutrientes) ..... 36
Eliminación de nutrientes ..... 37
Tratamiento avanzado para la eliminación adicional de sólidos en suspensión ..... 38
Manejo de sólidos ..... 38
Espesamiento ..... 39
Conclusiones clave: Avanzado/terciario ..... 39
Deshidratación ..... 40
Acondicionamiento ..... 40
Estabilización ..... 40
Regulación de sólidos ..... 41
Eliminación definitiva de efluentes ..... 41
Descarga de aguas superficiales ..... 42
Reutilización de efluentes ..... 42
Aplicación en tierra ..... 42

**Lagunas para el tratamiento de aguas residuales ..... 45**

Variaciones en el tratamiento de lagunas ..... 46
Consideraciones de construcción ..... 46
Mantenimiento de lagunas ..... 46
Conclusiones clave: Lagunas ..... 47

**Qué son los sistemas descentralizados de tratamiento de aguas residuales ..... 49**

Sistema de tratamiento de aguas residuales in situ (OWTS) ..... 50
El tanque del pozo séptico ..... 50
Zona de tratamiento del suelo ..... 51
Pretratamiento avanzado y dispersión mejorada ..... 52

Sistemas en clúster descentralizados ..... 55
Operaciones, administración y planificación de activos en sistemas descentralizados/in situ ..... 56
Conclusiones clave: Tratamiento de aguas residuales descentralizado ..... 57
**Solución de problemas del sistema: Afluencia e infiltración ..... 59**
Una ordenanza estricta sobre el uso del alcantarillado protege su sistema ..... 60
**Cómo iniciamos un proyecto de mejora de aguas residuales ..... 61**
Contratación de profesionales cualificados ..... 62
Proceso típico de proyectos (sistemas comunitarios) ..... 62
Definición del problema ..... 62
Adquisición de servicios profesionales (RFP/RFQ) ..... 62
Documentos de ingeniería y medio ambiente ..... 63
Selección de la tecnología apropiada para el tratamiento de aguas residuales ..... 63
Búsqueda de financiación para el proyecto ..... 64
**Por qué es importante una administración competente de las empresas de tratamiento de aguas residuales ..... 65**
**Una gota de conocimiento… ¿Pero necesita más? ..... 67**
**Apéndice A: Comparación de sistemas de recolección alternativos ..... 69**
**Apéndice B: Comparación de tecnologías de tratamiento secundario ... 73**
**Apéndice C: Comparación de tecnologías de lodos activados ..... 75**
**Apéndice D: Comparación de tecnologías de pretratamiento avanzado descentralizado ..... 77**
**Apéndice E: Recursos adicionales ..... 79**
**Apéndice F: Glosario ..... 81**

Esta página se dejó intencionadamente en blanco

# Introducción

El acceso a agua potable segura y fiable depende de algo más que la calidad del suministro de agua potable de una comunidad. También depende de lo que ocurre después de usar el agua. Cada vez que los residentes tiran de la cadena del inodoro, lavan los platos, gestionan un negocio o llevan a cabo un proceso de fabricación, generan aguas residuales. Gestionar eficazmente esas aguas residuales es esencial para proteger la salud pública, preservar los recursos naturales y sostener el crecimiento de la comunidad.



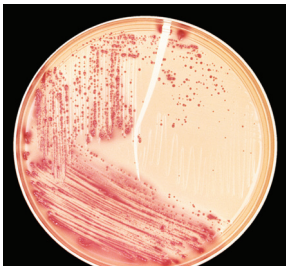

Las aguas residuales son simplemente aguas usadas que se deben tratar antes de devolverse al medio ambiente. En muchos casos, el agua que extraemos de los ríos o acuíferos ya ha sido utilizada río arriba por otra comunidad y tratada antes de verterse. El agua se reutiliza repetidamente dentro del ciclo hidrológico. Sin un tratamiento adecuado, las aguas residuales pueden transportar patógenos, nutrientes y otros contaminantes de vuelta a las fuentes de agua potable.

La contaminación procedente de desechos humanos sigue siendo una preocupación para la salud pública a nivel mundial. Las investigaciones sobre saneamiento citadas frecuentemente por organizaciones como UNICEF señalan que un solo gramo de heces puede contener millones de virus y bacterias, junto con huevos de parásitos capaces de transmitir enfermedades [UNICEF (2000): *Saneamiento para todos: Promoviendo la dignidad y los derechos humanos* (UNICEF, Nueva York)].

A nivel mundial, el agua potable y el saneamiento deficientes siguen contribuyendo a enfermedades prevenibles y a la mortalidad infantil. Los sistemas modernos de tratamiento de aguas residuales existen para prevenir esas consecuencias al eliminar los contaminantes antes de que el agua se reutilice o se descargue. En Estados Unidos, la mayoría de las comunidades se benefician de una infraestructura de aguas residuales ya establecida, pero un servicio fiable no ocurre automáticamente. Los sistemas de tratamiento de aguas residuales requieren una buena gobernanza, planificación financiera, cumplimiento normativo, administración de activos y mano de obra cualificada. Para los líderes comunitarios y los legisladores, comprender los fundamentos de las operaciones de aguas residuales es fundamental, no para sustituir a los operadores certificados, sino para apoyarlos mediante una supervisión informada y tomas de decisiones estratégicas.

Esta guía presenta las operaciones de tratamiento de aguas residuales en términos prácticos y no técnicos. Explica cómo se organizan los sistemas, por qué el tratamiento es necesario, cómo se aplican los marcos normativos y qué decisiones de liderazgo influyen más directamente en la sostenibilidad del sistema. Su propósito es dotar a los funcionarios electos, miembros de juntas directivas, administradores y partes interesadas de la comunidad con los conocimientos básicos suficientes para formular preguntas informadas, evaluar riesgos y planificar de manera responsable para el futuro.

## Por qué la gestión de aguas residuales es importante



*Escherichia coli*

El tratamiento de aguas residuales cumple tres funciones públicas fundamentales: proteger la salud humana, preservar la calidad del medio ambiente y mantener los estándares de la comunidad.

En primer lugar, las aguas residuales sin tratar pueden contener bacterias, virus y parásitos capaces de causar enfermedades graves. Un tratamiento eficaz reduce estos riesgos biológicos antes de que el agua vuelva a entrar en ríos, lagos, aguas subterráneas o zonas costeras.

En segundo lugar, las aguas residuales contienen nutrientes como nitrógeno y fósforo. Si se vierten sin tratamiento, estos nutrientes pueden agotar el oxígeno en las aguas receptoras, dañar los ecosistemas acuáticos y contribuir a floraciones de algas dañinas. Una gestión adecuada protege la pesca, las actividades recreativas y el suministro de agua potable aguas abajo.

En tercer lugar, las aguas residuales afectan la calidad de vida. Los malos olores, la contaminación visible y

las infraestructuras deficientes socavan el desarrollo económico y la confianza pública. Los sistemas bien gestionados protegen el valor de las propiedades y la reputación de la comunidad.

La supervisión federal de la descarga de aguas residuales se rige principalmente por la Ley de Agua Limpia, que estableció estándares nacionales para la calidad del agua y creó requisitos de permisos para las instalaciones que descargan efluentes tratados en aguas superficiales. La mayoría de las plantas de tratamiento centralizadas operan bajo un permiso del Sistema Nacional de Eliminación de Descargas de Contaminantes (NPDES), que generalmente es administrado por agencias ambientales estatales. Estos permisos definen los requisitos de seguimiento, presentación de informes y rendimiento. El incumplimiento puede derivar en acciones legales, sanciones económicas y daños reputacionales.

Para los líderes, el cumplimiento normativo no es simplemente una cuestión técnica; es una responsabilidad de gobernanza. Garantizar la financiación, el personal y la supervisión adecuados influye directamente en si un sistema cumple o no con sus obligaciones legales.

## Cómo se organizan los sistemas comunitarios de aguas residuales

Si bien las tecnologías de tratamiento varían, los sistemas comunitarios de aguas residuales generalmente se dividen en dos grandes categorías: centralizados y descentralizados.

Los sistemas centralizados son comunes en ciudades donde las casas y los negocios están conectados a una red de tuberías de alcantarillado subterráneas. Las aguas residuales fluyen a través de este sistema de recolección hacia una planta de tratamiento central. Allí se eliminan los sólidos, se reduce la materia orgánica y se tratan los contaminantes antes de que el agua depurada se descargue bajo las condiciones del permiso.

Los sistemas descentralizados son más comunes en zonas rurales o de baja densidad poblacional, donde la ampliación de la infraestructura de alcantarillado no es económicamente viable. Estos sistemas tratan las aguas residuales cerca de su origen. El ejemplo más conocido es un sistema séptico, que separa los sólidos en un tanque y dispersa el efluente parcialmente tratado en un campo de absorción del suelo para su tratamiento adicional mediante procesos naturales. Algunas comunidades utilizan pequeños sistemas agrupados que combinan elementos de ambos enfoques.

La distinción entre sistemas centralizados y descentralizados tiene implicaciones prácticas para la gobernanza. Los sistemas centralizados suelen requerir una administración formal de los servicios públicos, planificación de mejoras de capital, inventarios de activos y operadores certificados. Los sistemas descentralizados suelen implicar a los departamentos de salud locales, responsabilidades de los propietarios de vivienda y requisitos de inspección periódica. En algunos casos, los sistemas agrupados pueden requerir permisos








de descarga y una administración similar a la de las instalaciones centralizadas.

Independientemente de su configuración, todos los sistemas de aguas residuales deben abordar los mismos objetivos fundamentales: recolección segura, tratamiento eficaz, vertido o reutilización responsable y mantenimiento continuo.

## Responsabilidades de liderazgo y resiliencia a largo plazo

La infraestructura de tratamiento de aguas residuales en todo Estados Unidos enfrenta presiones cada vez mayores. Muchos sistemas se construyeron hace décadas y ahora requieren rehabilitación o reemplazo. A medida que los operadores experimentados se jubilan, surgen nuevos desafíos sobre la fuerza laboral. La financiación suele ser objeto de limitaciones, especialmente en comunidades pequeñas o rurales. Los fenómenos meteorológicos extremos, el crecimiento demográfico y el desarrollo económico pueden sobrecargar aún más las instalaciones existentes.

La resiliencia abarca la sostenibilidad financiera, el cumplimiento normativo, la fiabilidad de la infraestructura y la continuidad de la fuerza laboral. Los líderes influyen en la resiliencia a través de las decisiones sobre la fijación de tarifas, la planificación de las inversiones de capital, el apoyo a la capacitación de los operadores y la comunicación transparente con el público.

Un liderazgo informado no requiere dominar la química del tratamiento ni el diseño de ingeniería. Requiere comprender los riesgos, reconocer las obligaciones normativas, planificar la sustitución de activos y garantizar que la experiencia operativa reciba el apoyo necesario, en lugar de ser relegada a un segundo plano.

Al fortalecer las prácticas de gobernanza y mantener una comprensión clara de los fundamentos del sistema (como los que se describen en esta guía), los líderes comunitarios ayudan a salvaguardar la salud pública, proteger los recursos naturales y garantizar que los sistemas de aguas residuales sigan siendo fiables para las generaciones venideras.

## El papel esencial del operador de aguas residuales

Los operadores de aguas residuales son los principales guardianes de la salud pública y la protección del medio ambiente. Diariamente, son responsables de supervisar el desempeño del tratamiento, recolectar y analizar muestras, ajustar los procesos químicos y biológicos, dar mantenimiento a los equipos mecánicos, responder a las alarmas y emergencias, y garantizar el cumplimiento con los permisos de vertido y los requisitos de presentación de informes. En muchos sistemas, el operador debe ser a la vez científico y mecánico: comprender la biología y la química del tratamiento, al tiempo que se encarga del mantenimiento de las bombas, los controles y la infraestructura.

El puesto conlleva una importante responsabilidad legal y operativa. Cuando los procesos de tratamiento fallan, los riesgos incluyen infracciones normativas, daños ambientales y posibles impactos en la salud pública. Los operadores cualificados evitan estas consecuencias mediante la supervisión constante, el mantenimiento preventivo y un criterio operativo acertado.

Para los miembros de la junta directiva y los funcionarios electos, trabajar eficazmente con su operador es una buena práctica administrativa. Esto incluye establecer canales de comunicación claros, respetar la experiencia profesional, involucrar a los operadores en las decisiones de planificación de capital y asegurarse de que tengan las herramientas y el personal necesarios para lograr el éxito.

Se debe alentar a los operadores a que proporcionen evaluaciones francas sobre los riesgos del sistema y las necesidades de infraestructura.

Si bien los requisitos de certificación de operadores se establecen a nivel estatal en lugar de ser obligatorios a nivel federal en todo el país, la capacitación continua es esencial en todas las jurisdicciones. Las tecnologías de tratamiento evolucionan, las regulaciones cambian y surgen nuevos contaminantes. Financiar la capacitación y el desarrollo profesional de los operadores es una inversión directa en el cumplimiento normativo, la fiabilidad del sistema y la protección a largo plazo de la salud y los recursos hídricos de su comunidad.

Esta página se dejó intencionadamente en blanco

# Cómo se regulan las aguas residuales y qué se está regulando

Las regulaciones modernas sobre aguas residuales en Estados Unidos tienen sus raíces en las enmiendas a la Ley Federal de Control de la Contaminación del Agua en 1972, y la cual ahora se conoce como Ley de Agua Limpia (CWA). Antes de ese momento, la supervisión se llevaba a cabo principalmente a nivel estatal. La CWA amplió significativamente el papel del gobierno federal y estableció el marco que aún rige el tratamiento de aguas residuales en la actualidad.

Las enmiendas de 1972 exigieron un tratamiento secundario —un tratamiento biológico posterior a la eliminación de los sólidos sedimentables— para la mayoría de las instalaciones municipales. También crearon el Sistema Nacional de Eliminación de Descargas Contaminantes (NPDES), el cual es un programa de permisos que exige que cualquier instalación que descargue aguas residuales desde una fuente puntual (como una tubería o un emisor) a aguas superficiales cumpla con los límites de contaminantes definidos. Los estados y las tribus pueden administrar sus propios programas NPDES si cumplen con los requisitos federales; a esas jurisdicciones se las denomina de “primacía”.

La CWA también estableció estándares de calidad del agua ambiental para ríos, lagos y arroyos. Con el tiempo, las regulaciones adicionales han fortalecido este marco. El Reglamento sobre Lodos de Alcantarillado (40 CFR Parte 503), adoptado en 1993, establece normas para el uso y la eliminación seguros de sólidos de las aguas residuales, incluidos los límites de metales pesados y patógenos. El programa de Carga Máxima Diaria Total (TMDL), implementado en el 2000, evalúa la calidad del agua a nivel de cuenca hidrográfica y establece la cantidad máxima de un contaminante que un cuerpo de agua puede recibir sin dejar de cumplir con los estándares. Los TMDL consideran




*Laboratorio de planta de tratamiento de aguas residuales (WWTP)*

tanto las fuentes puntuales (p. ej., las plantas de tratamiento) como las fuentes difusas (p. ej., la escorrentía agrícola o pluvial). Cuando se superan los estándares de calidad del agua, las plantas de tratamiento de aguas residuales pueden enfrentarse a límites de permisos más estrictos y es posible que se les exija agregar tratamientos avanzados.

Para comprender las regulaciones, es necesario comprender qué, específicamente, se mide y controla en las aguas residuales.

Una categoría de medición importante es los **sólidos**, que incluyen materiales que flotan, se asientan, permanecen en suspensión o se disuelven. Las plantas de tratamiento suelen medir el total de sólidos en suspensión (TSS) —que son las partículas que quedan atrapadas en un filtro fino— y el total de sólidos disueltos (TDS), los cuales pasan a través del filtro. Las aguas residuales domésticas típicas contienen entre 150 y 300 miligramos por litro (mg/l) de TSS; después del tratamiento secundario, las concentraciones generalmente se reducen a menos de 30 mg/l.

**Material orgánico biodegradable** es otra categoría que cae bajo las regulaciones. La materia orgánica sirve de alimento para los microorganismos, que la consumen durante el tratamiento. Si las aguas residuales sin tratar se vertieran directamente a un arroyo, el proceso de descomposición consumiría el oxígeno disuelto en el agua receptora, lo que podría matar a los peces y otros organismos acuáticos. La medición estándar de la fuerza orgánica es la **demanda bioquímica de oxígeno** (DBO), la cual cuantifica la cantidad de oxígeno consumido a medida que los microbios descomponen la materia orgánica. Las aguas residuales domésticas suelen tener una DBO de entre 100 y 300 mg/l; después del tratamiento secundario, la DBO se reduce generalmente a menos de 30 mg/l.

Los **patógenos** también son una preocupación principal. Las aguas residuales sin tratar contienen bacterias, virus, protozoos y otros microorganismos, algunos de los cuales pueden causar enfermedades. Debido a que hacer pruebas para detectar todos los patógenos posibles resulta poco práctico, los permisos se basan en organismos "indicadores" —generalmente E. coli u otras bacterias coliformes— para señalar una posible contaminación fecal. Los permisos NPDES generalmente incluyen límites para estos indicadores con el fin de proteger la salud pública.

Finalmente, los **nutrientes** (en especial el nitrógeno y el fósforo) están estrictamente regulados en muchas cuencas hidrográficas. Si bien son necesarios para el crecimiento biológico, los vertidos de nutrientes excesivos pueden causar eutrofización, caracterizada por la floración de algas y bajos niveles de oxígeno. Dependiendo de la sensibilidad del cuerpo de agua receptor y de los requisitos de TMDL aplicables, es posible que las plantas de tratamiento deban cumplir con límites específicos de efluentes para el nitrógeno total (NT) y el fósforo total (FT).

Para los líderes comunitarios, la conexión entre regulaciones y tratamiento es directa. Los permisos regulan las concentraciones de sólidos, materia orgánica, patógenos y nutrientes en los efluentes tratados y los residuos. Mantener el cumplimiento normativo requiere conocimientos técnicos, una supervisión constante y una administración de activos disciplinada. Para muchos sistemas pequeños, actualizar la tecnología de forma proactiva antes de que entren en vigor nuevos requisitos normativos resulta financieramente inviable. En cambio, una planificación responsable con frecuencia implica presupuestar el mantenimiento y la sustitución al final de la vida útil de un activo, seguir de cerca la evolución de la normativa y preparar a la empresa de servicios públicos para buscar financiación cuando surjan nuevos requisitos.

***Concentraciones típicas para aguas residuales domésticas sin tratar y tratadas.***

| PARÁMETRO DE AGUAS RESIDUALES | AGUAS RESIDUALES SIN TRATAR* | DESPUÉS DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO | DESPUÉS DEL TRATAMIENTO AVANZADO |
|---|---|---|---|
| Demanda bioquímica de oxígeno | 100-300 mg/l | <30 mg/l | <10 mg/l |
| Total de sólidos en suspensión | 150-300 mg/l | <30 mg/l | <10 mg/l |
| Nitrógeno total | 20-80 mg/l | 10-15 mg/l | 2-8 mg/l |
| Fósforo total | 6-15 mg/l | 4-9 mg/l | <1 mg/l |

** Los rangos presentados corresponden a aguas residuales domésticas. Las características de un flujo de aguas residuales pueden ser muy diferentes si el sistema recibe aportes significativos de fuentes industriales, comerciales o institucionales.*

## Contaminantes adicionales de interés

Las aguas residuales pueden contener una amplia variedad de contaminantes, además de sólidos, materia orgánica, nutrientes y patógenos. Dependiendo de los usuarios conectados a un sistema de recolección, las aguas residuales pueden contener productos químicos industriales

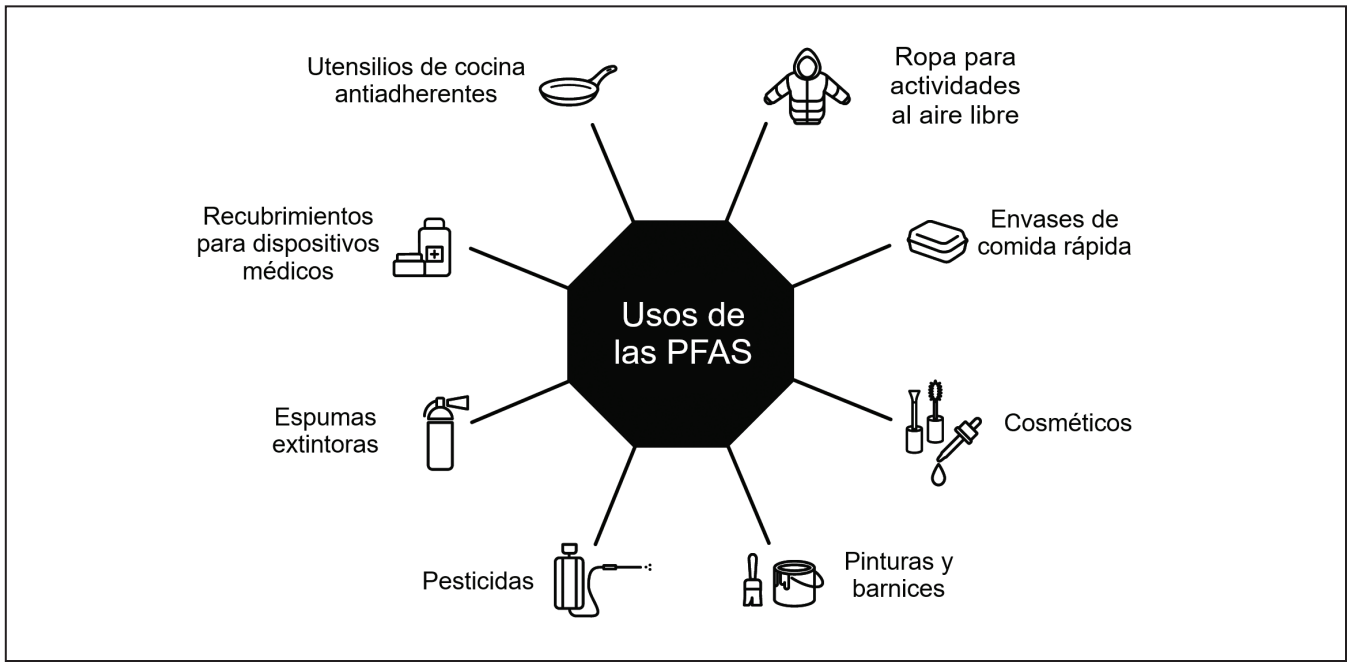
como metales pesados y disolventes, así como pesticidas agrícolas. Algunos productos químicos orgánicos sintéticos resisten la degradación biológica durante el tratamiento. Estos se conocen como **compuestos refractarios**, y pueden incluir algunos tipos de detergentes y pesticidas que, tras los procesos de tratamiento convencionales, permanecen prácticamente inalterados.

Los productos farmacéuticos y de cuidado personal también han atraído una atención cada vez mayor. Aunque suelen estar presentes en concentraciones muy bajas, algunos compuestos de estos productos se han asociado con la alteración endocrina en humanos y organismos acuáticos. Las plantas de tratamiento de aguas residuales no se diseñaron originalmente para eliminar estos contaminantes traza y, si bien las concentraciones suelen reducirse durante el tratamiento, no siempre se logra su eliminación completa.

En los últimos años, un enfoque científico y normativo significativo se ha centrado en **sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas** (PFAS), incluyendo **ácido perfluorooctanoico** (PFOA) y sustancias químicas "permanentes" relacionadas. Estos compuestos se han utilizado ampliamente en procesos industriales, espumas extintoras, recubrimientos antiadherentes y productos de consumo resistentes al agua. Las PFAS son altamente persistentes en el medio ambiente y resistentes a los tratamientos biológicos convencionales. Como resultado, pueden pasar por las plantas de tratamiento de aguas residuales y acumularse en las aguas superficiales o concentrarse en los sólidos de las aguas residuales (biosólidos).

Cada vez más investigaciones han relacionado ciertos compuestos PFAS con posibles efectos en la salud, lo que ha impulsado acciones normativas a nivel federal y estatal. Normas recientes de agua potable establecidas en virtud de la **Ley de Agua Potable Segura** (SDWA) establecieron límites obligatorios para varios compuestos PFAS en los sistemas públicos de agua, y se espera un mayor escrutinio normativo para las descargas de aguas residuales y la gestión de biosólidos. Si bien la mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales aún no están sujetas a límites numéricos específicos de PFAS en sus permisos de descarga, los requisitos de monitoreo se están ampliando y es posible que en el futuro se implementen regulaciones sobre efluentes o lodos.

Para los líderes comunitarios, el surgimiento de las PFAS resalta una realidad más amplia: cada vez se espera más que los sistemas de aguas residuales manejen contaminantes para los que originalmente no fueron diseñados. Para hacer frente a estos retos, pueden ser necesarias medidas de control en origen, programas de pretratamiento industrial, coordinación regional y, con el tiempo, una importante inversión de capital. Mantenerse informado sobre la evolución de la ciencia y las regulaciones es fundamental para la planificación a largo plazo y la gestión de riesgos.



Esta página se dejó intencionadamente en blanco

# Cómo se recolectan y transportan las aguas residuales

Antes de que las aguas residuales puedan tratarse, primero deben recolectarse y transportarse a un sistema de tratamiento o dispersión. La infraestructura de recolección es una de las inversiones públicas más grandes y menos visibles de una comunidad. Debido a que está enterrada bajo tierra, generalmente pasa desapercibida hasta que ocurre una avería. Sin embargo, una comunidad sin un sistema de recolección adecuado puede ver limitadas sus oportunidades de desarrollo económico, independientemente de la idoneidad de su planta de tratamiento.

## De la casa a la alcantarilla

El proceso de tratamiento de aguas residuales comienza dentro de las casas y las empresas. Las aguas residuales procedentes de lavamanos, inodoros, duchas y electrodomésticos fluyen a través del sistema de drenaje doméstico. Estas tuberías dependen de la gravedad para alejar las aguas residuales de la estructura, mientras que un sistema de ventilación mantiene la presión de aire adecuada e impide que los gases de la alcantarilla entren en el edificio.

Las aguas residuales de los aparatos sanitarios individuales desembocan en una tubería central del edificio y salen a través del alcantarillado del edificio (también llamado acometida sanitaria). Esta tubería se conecta a la red de alcantarillado comunitaria o a un sistema propio, como un tanque del pozo séptico. El alcantarillado de los edificios generalmente incluye bocas de inspección selladas —una cerca del edificio y otra cerca del límite de la propiedad— para permitir el acceso en caso de obstrucciones. En la mayoría de las comunidades, los propietarios son responsables del sistema de alcantarillado de sus edificios, mientras que la empresa de servicios públicos se encarga del mantenimiento del sistema de alcantarillado público. Un mantenimiento adecuado en ambos niveles es esencial para prevenir obstrucciones, fugas y atascos.



## Sistemas de recolección comunitarios

La red de tuberías subterráneas que transporta las aguas residuales a una planta de tratamiento se conoce como el **sistema de recolección**. En esta guía, asumimos que el sistema está diseñado como un **alcantarillado sanitario**, previsto para transportar solamente aguas residuales. Los sistemas más antiguos en algunas comunidades fueron construidos como **alcantarillado combinado**, transportando tanto aguas residuales como aguas pluviales. Durante las lluvias intensas, los sistemas combinados pueden desbordarse hacia los arroyos cercanos.

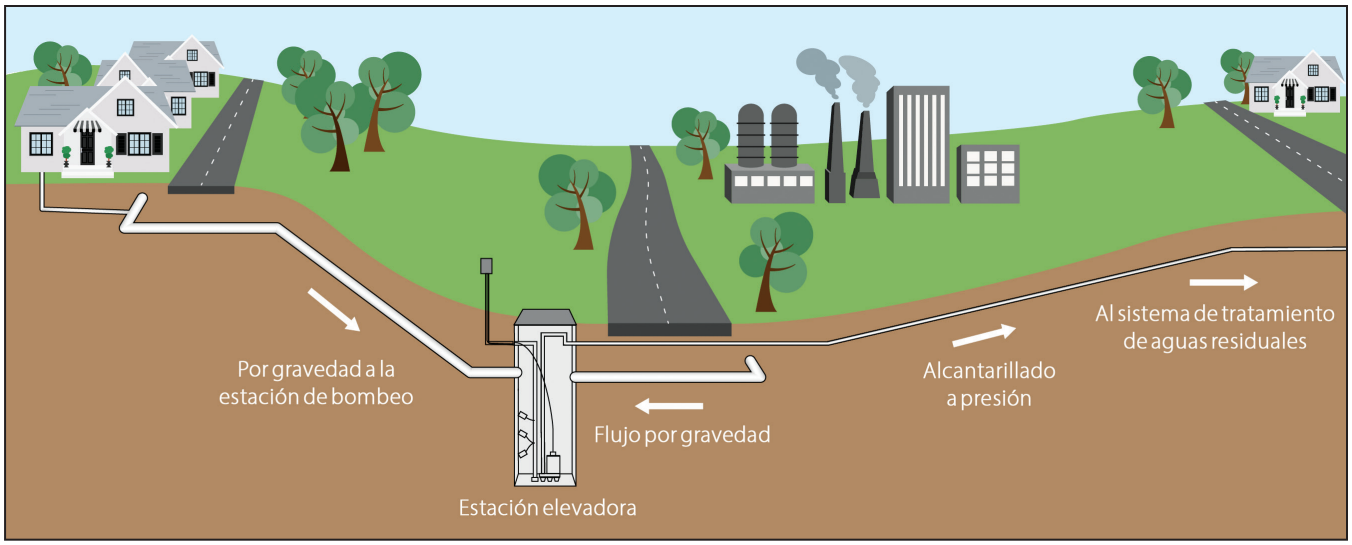
Incluso los sistemas de saneamiento suelen recibir aguas pluviales y subterráneas no deseadas a través de grietas, juntas defectuosas o conexiones ilegales. Esto se conoce como **afluencia e infiltración**. El exceso de afluencia e infiltración puede sobrecargar las tuberías y las instalaciones de tratamiento, lo que causa desbordamientos o descargas parcialmente tratadas.

La construcción de un sistema de recolección suele costar tanto como (o más que) la propia planta de tratamiento. Proteger esa inversión mediante la operación, el mantenimiento y la administración de activos adecuados es fundamental.

## Sistemas de recolección convencionales por gravedad

La mayoría de los sistemas de recolección tradicionales se basan en la gravedad. Las aguas residuales fluyen cuesta abajo a través de tuberías cada vez más grandes, de forma muy parecida a como las ramas se unen al tronco de un árbol. A continuación se muestra un ejemplo de proceso de flujo:

- Las acometidas sanitarias conectan los edificios con el alcantarillado secundario.
- El alcantarillado secundario (o lateral) desemboca en el alcantarillado principal.



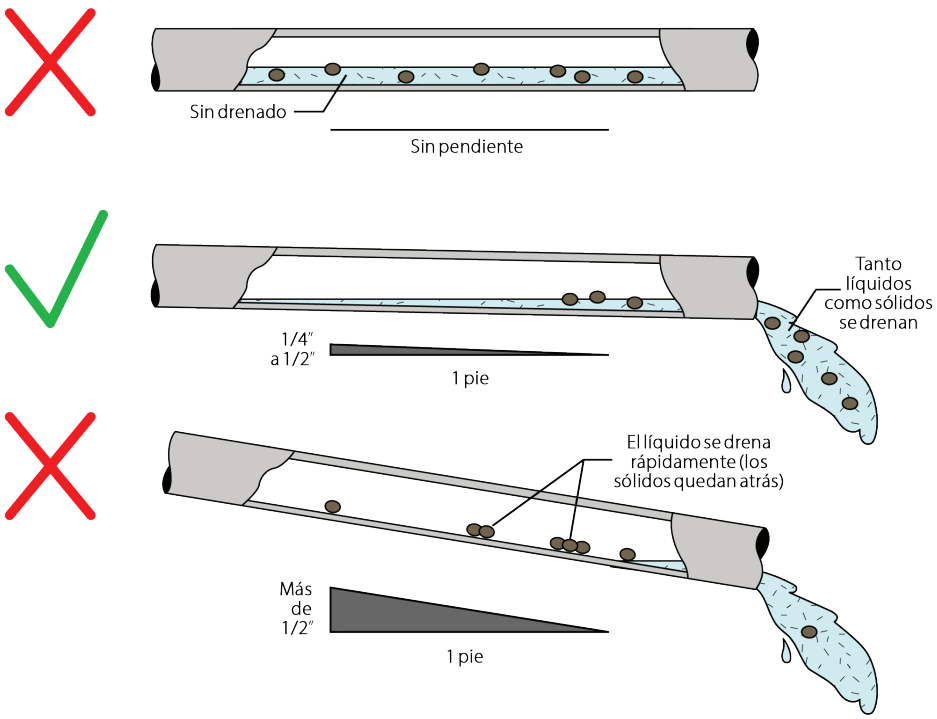

- Los sistemas de alcantarillado principal se unen para formar colectores.
- Las alcantarillas interceptoras transportan las aguas residuales a la planta de tratamiento.

A medida que el flujo aguas abajo aumenta, los diámetros de las tuberías aumentan y las pendientes pueden disminuir, manteniendo al mismo tiempo una velocidad adecuada.

### *Mantenimiento de un flujo adecuado*

Los sistemas de gravedad deben diseñarse cuidadosamente para mantener una velocidad suficiente (conocida como **velocidad de lavado** o velocidad de autolimpieza) para evitar que los sólidos se depositen en la tubería. El flujo varía a lo largo del día, alcanzando su punto máximo por la mañana y por la tarde, cuando el consumo de agua es mayor. Los sistemas están diseñados para que se produzca una limpieza adecuada tanto durante los flujos medios como durante los flujos pico.

**Una pendiente demasiado pequeña o demasiado grande no es algo bueno**



*Componentes clave (accesorios)*

Los sistemas de recolección incluyen más que tuberías. Los componentes importantes incluyen los siguientes:

- **Las bocas** proporcionan acceso para inspección, limpieza y mantenimiento. Las bocas se instalan en puntos cruciales del sistema, como uniones de tuberías, cambios en la dirección o pendiente de la línea y cambios en el diámetro de la tubería.
- **Las estaciones elevadoras** bombean las aguas residuales a una altura mayor cuando no sea posible el flujo por gravedad. Una estación elevadora normalmente incluye un pozo húmedo, bombas, controles, alarmas, ventilación y, a veces, equipos de control de olores o de filtrado. Debido a que dependen de la electricidad y requieren un mantenimiento frecuente, las estaciones elevadoras se utilizan solo cuando es necesario, por ejemplo, cuando mantener la pendiente necesaria para el flujo por gravedad requeriría excavar a profundidades que serían costosas y poco prácticas.
- **Las tuberías de impulsión** transportan aguas residuales a presión desde una estación elevadora. Estas tuberías deben resistir picos de presión y posible corrosión.

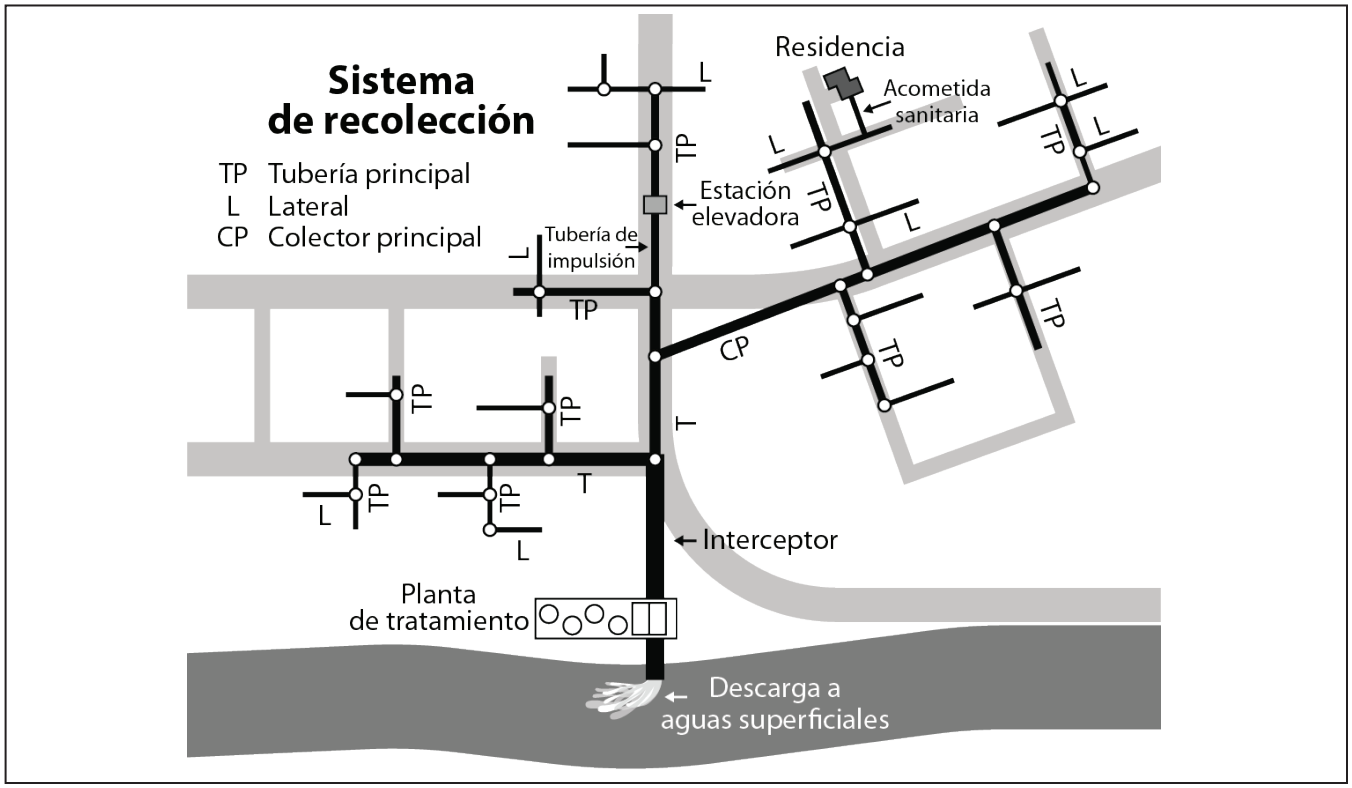
Las tuberías pueden ser de plástico (flexibles y resistentes a la corrosión) o de materiales rígidos como hormigón, arcilla, hierro dúctil o acero, seleccionados dependiendo de las condiciones del sitio y las necesidades de rendimiento.

Otros accesorios comunes de los sistemas de recolección incluyen dispositivos antirretorno, alcantarillado de edificios y registros de limpieza de ramales laterales.

## Sistemas de recolección alternativos

En tierras poco pobladas o de difícil acceso (como tierras muy llanas, colinas empinadas, lecho rocoso poco profundo o niveles freáticos altos), los sistemas de gravedad convencionales pueden resultar prohibitivamente costosos. En respuesta, se han desarrollado varias tecnologías de recolección "alternativas" para reducir los costos de instalación y los requisitos de excavación.

Los sistemas alternativos suelen utilizar tuberías de menor diámetro, profundidades de enterramiento reducidas y registros de limpieza en lugar de bocas. Muchos no dependen completamente de la gravedad. Estos sistemas suelen ser adecuados para zonas rurales, comunidades que reemplazan sistemas sépticos defectuosos o desarrollos en clúster descentralizados.



### *Alcantarillado a presión*

Los sistemas de alcantarillado a presión transportan aguas residuales a presión a través de tuberías de plástico de diámetro pequeño. Esto les confiere la ventaja de poder instalarse en diferentes pendientes y de poder sortear más fácilmente obstáculos u otros servicios públicos (p. ej., tuberías de agua), alcantarillado pluvial o arroyos. Las bombas ubicadas en las conexiones de servicio individuales transportan las aguas residuales a la tubería principal común. Debido a que el sistema está presurizado y es hermético, se eliminan en gran medida las afluencias e infiltraciones.

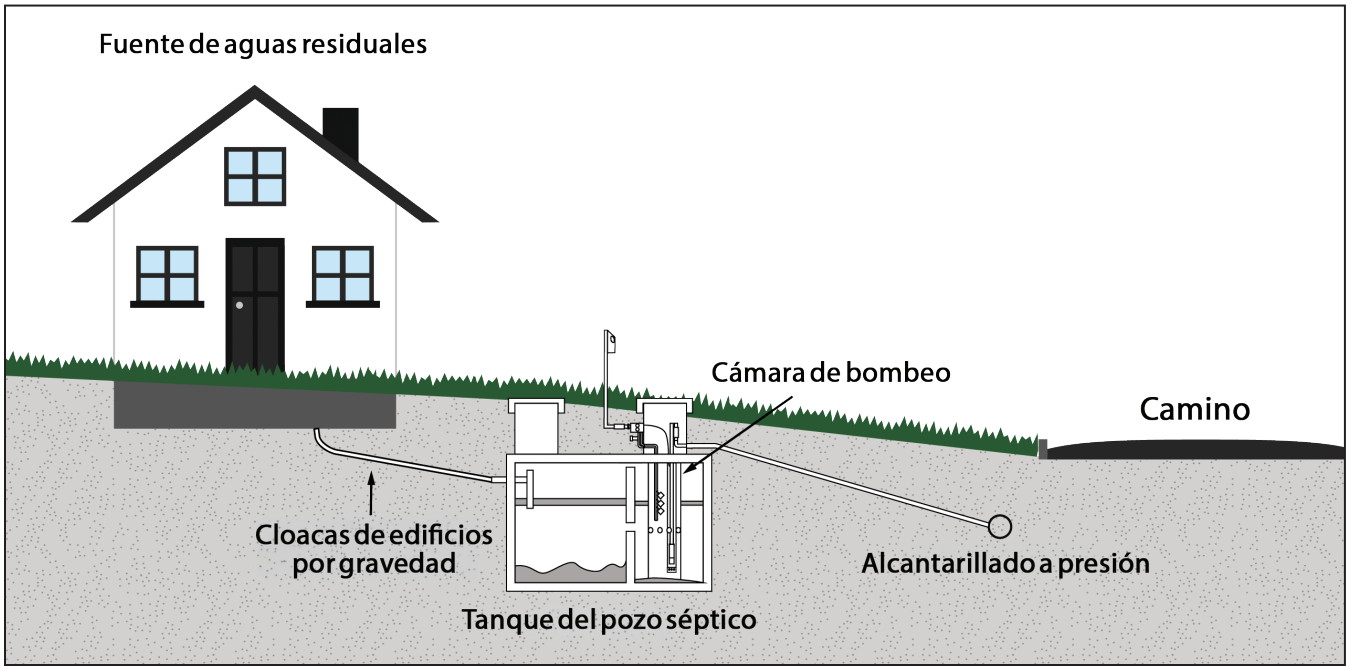
Los sistemas de alcantarillado a presión requieren un diseño integrado que tenga en cuenta el número de conexiones (existentes y proyectadas) y la topografía del terreno. Los fabricantes de bombas y componentes de bombeo asociados suelen poner a disposición de los ingenieros de diseño de sistemas su software informático y los parámetros de diseño recomendados, lo que constituye un recurso invaluable que siempre debe aprovecharse. Identificar empresas con una buena trayectoria en su región que hayan demostrado un apoyo continuo es una parte fundamental del proceso de planificación y selección.

Existen dos tipos principales de sistemas de bombeo (en el Apéndice A se pueden encontrar más detalles sobre cada uno):

- **Los sistemas de bombeo de efluentes de tanques de pozos sépticos (STEP)** utilizan un pozo séptico para el tratamiento primario, y una bomba de efluentes de baja potencia para mover el efluente clarificado a una tubería principal de presión. Los sólidos se asientan y los elementos flotantes ascienden en el tanque, dejando líquido parcialmente tratado que debe bombearse. Dado que se elimina la mayor parte de los sólidos, se pueden utilizar tuberías de diámetro pequeño (de 1.5 a 3 pulgadas), lo que reduce los costos de construcción en comparación con el alcantarillado convencional por gravedad de 8 pulgadas. El diseño hermético del tanque es fundamental para evitar la infiltración de agua subterránea y el bombeo innecesario.
- **Los sistemas de bomba trituradora (BT)** no utilizan tanques de pozos sépticos. En cambio, una bomba trituradora ubicada en un pequeño depósito hermético tritura los sólidos y bombea todas las aguas residuales a la tubería principal de presión. La calidad del efluente es similar a la de las aguas residuales sin tratar y requiere un tratamiento posterior completo. Estos sistemas evitan el bombeo periódico de residuos sépticos, pero pueden tener una vida útil de la bomba



*Estación de bombeo de alcantarillado*



más corta y un consumo de energía ligeramente superior al de los sistemas de STEP. Los sistemas de bomba trituradora requieren una respuesta rápida ante cualquier avería, ya que el volumen de almacenamiento es limitado.

### *Operación y mantenimiento del alcantarillado a presión*

La administración eficaz de un sistema de alcantarillado a presión requiere la supervisión de todos los componentes, incluidos las estaciones de bombeo individuales, los tanques de pozos sépticos en los sistemas de STEP, las conexiones de servicio y las tuberías principales de presión. Cada casa o negocio conectado cuenta con servicio eléctrico, y aunque las bombas de efluentes y trituradoras suelen funcionar solo unos minutos al día, es fundamental responder con rapidez a las alarmas. Las cámaras de bombeo, tanto en los sistemas STEP como en los sistemas de bomba trituradora (BT), están equipadas con alarmas de alto nivel o de falla, y la entidad administradora responsable (EAR) debe estar preparada para responder rápidamente y evitar atascos o desbordamientos.



*Depósito de la bomba trituradora de sistema de recolección*

Las comunidades deberían establecer un programa de mantenimiento formal, ya sea mediante personal especializado o servicios contratados, para garantizar inspecciones rutinarias, capacidad de respuesta ante emergencias y seguimiento de los activos a largo plazo. Se deben obtener servidumbres de acceso para los componentes de pretratamiento y las conexiones de servicio, y se deben mantener registros precisos de la obra terminada y mapeos de sistemas de información geográfica (SIG). Los sistemas de STEP requieren el bombeo periódico del tanque del pozo séptico para eliminar los sólidos acumulados. Los sistemas de bomba trituradora, que carecen de almacenamiento en tanque del pozo séptico, requieren que las emergencias se atiendan el mismo día, ya que el pozo húmedo proporciona una capacidad de reserva limitada en caso de falla.

## Conclusiones clave: Sistemas de recolección

Un sistema de recolección es la red subterránea de alcantarillado que transporta las aguas residuales a las plantas de tratamiento. Aunque frecuentemente se pasa por alto, es una parte fundamental de la infraestructura pública y requiere una inversión significativa.

**Tipos de alcantarillado:**

- Los alcantarillados sanitarios transportan solamente aguas residuales.
- Los alcantarillados combinados (presentes en sistemas más antiguos) transportan tanto aguas residuales como aguas pluviales, lo que puede causar desbordamientos.
- La afluencia e infiltración ocurre cuando el agua de lluvia o el agua subterránea se filtra en el sistema de recolección, lo que puede causar problemas de capacidad.

**Sistemas de recolección por gravedad:** Las aguas residuales suelen circular por las tuberías mediante gravedad. Para evitar que los sólidos se asienten, las tuberías deben diseñarse con la pendiente adecuada para mantener la velocidad de lavado.

**Componentes del sistema de recolección:**

- Las bocas proporcionan acceso para inspección y mantenimiento.
- Las estaciones elevadoras impulsan las aguas residuales cuesta arriba cuando el flujo por gravedad no es posible. Estas estaciones requieren energía eléctrica y mantenimiento periódico.
- Las tuberías de impulsión transportan aguas residuales a presión desde las estaciones elevadoras y deben soportar una presión adicional y una posible corrosividad.

**Sistemas de recolección alternativos:** Se utilizan en áreas donde los sistemas de alcantarillado por gravedad convencionales son demasiado costosos o poco prácticos. Estos sistemas:

- Utilizan tuberías más estrechas, reduciendo así los costos de instalación.
- Pueden instalarse a menor profundidad, siguiendo los contornos naturales del terreno.
- Requieren un pretratamiento (p. ej., fosas sépticas, bombas trituradoras) para descomponer los sólidos antes de que las aguas residuales entren en las tuberías.
- Pueden requerir mayor mantenimiento debido a los componentes de tratamiento descentralizados.

Esta página se dejó intencionadamente en blanco

# Cómo se tratan las aguas residuales

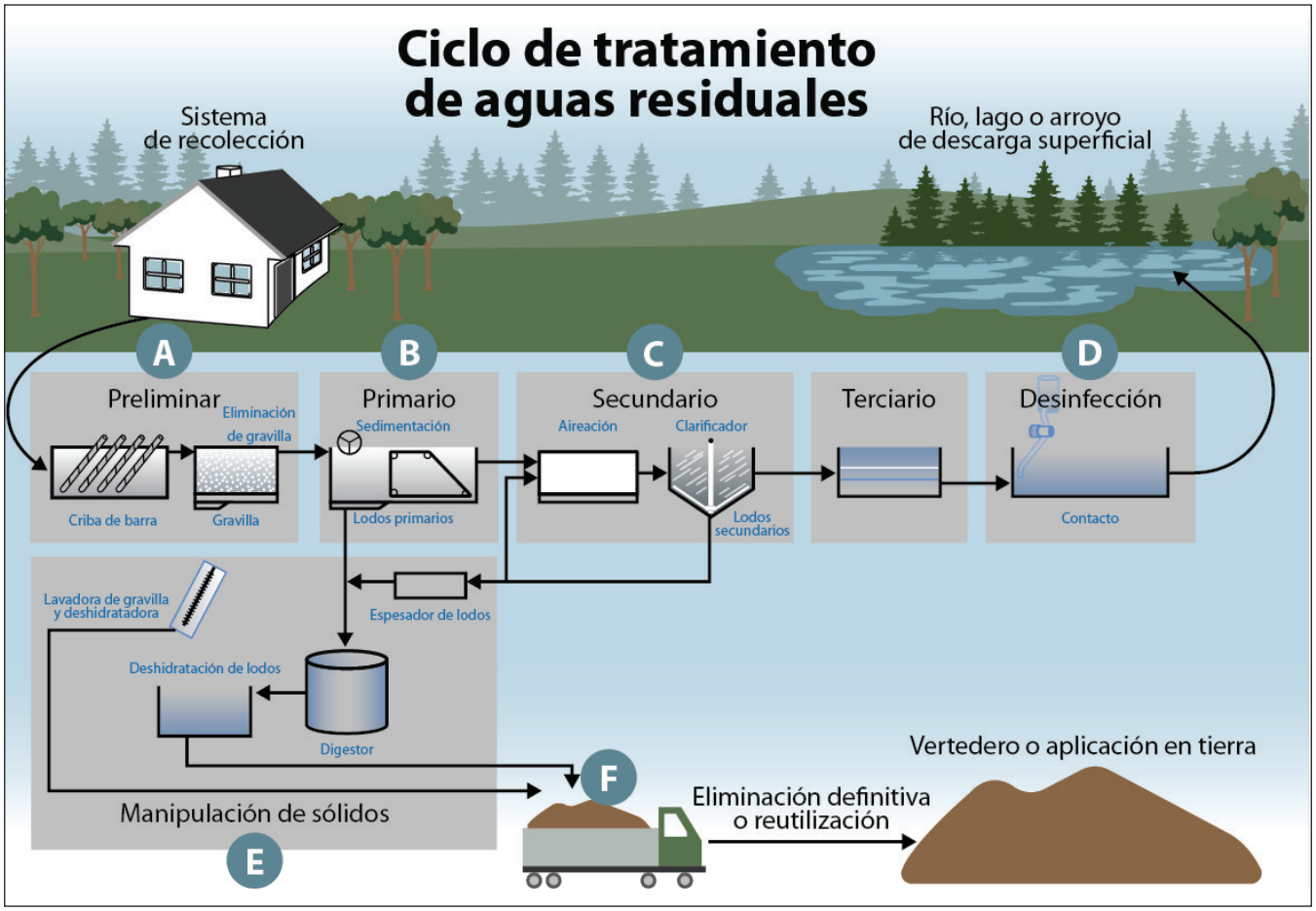
## Ciclo de tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales es una combinación de procesos físicos, biológicos y químicos. En la mayoría de las plantas de tratamiento de aguas residuales, también existen importantes componentes estructurales y mecánicos en forma de tanques, bombas, aireadores y dispositivos de monitoreo que aceleran y facilitan estos procesos.

Esta sección describe el proceso de tratamiento de aguas residuales a través de las distintas etapas que se encuentran en una planta mecánica. No todas las comunidades tendrán un sistema que incluya todos los procesos descritos en esta guía. De hecho, algunas comunidades dependen de sistemas de tratamiento de aguas residuales relativamente no mecánicos, como lagunas o sistemas sépticos que dan servicio a casas individuales. Sin embargo, la mayoría de los principios de tratamiento descritos en esta sección también se aplican a las lagunas y a los sistemas sépticos, que se abordarán más adelante.

El extremo aguas arriba de una planta de tratamiento de aguas residuales se llama **cabecera**. Cuando las aguas residuales llegan a la cabecera de la planta, comienza el proceso de tratamiento. El tratamiento de aguas residuales es una secuencia de procesos con ciertos mecanismos de retroalimentación. Estos procesos pueden agruparse en las siguientes categorías generales:

- Tratamiento preliminar
- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario
- Tratamiento avanzado o terciario
- Desinfección
- Manejo de sólidos
- Eliminación definitiva o reutilización



# Tratamiento preliminar (eliminación de residuos grandes y gravilla)

| LAS ETAPAS EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES |
|---|
| Tratamiento preliminar (A) |
| Tratamiento primario (B) |
| Tratamiento secundario (C) |
| Desinfección (D) |
| Manejo de sólidos (E) |
| Eliminación definitiva o reutilización (F) |
| Consulte el diagrama que muestra estos pasos en la página 21 |



*Planta de tratamiento de aguas residuales*

El **tratamiento preliminar**, con frecuencia denominado pretratamiento, consiste en eliminar los materiales gruesos —como ramas de árboles, trapos y bolsas de plástico— mediante cribado, así como en eliminar los materiales más pequeños, en su mayoría inorgánicos (no descomponibles) —como grava, cenizas y arena— mediante la eliminación de gravilla. Algunas plantas trituran el material hasta convertirlo en partículas más pequeñas, en lugar de eliminarlo. El tratamiento preliminar también puede incluir actividades como igualación del flujo, gestión de residuos sépticos, eliminación de grasa o control de olores.

También puede ser necesario un tratamiento preliminar para los usuarios industriales o comerciales antes de que entren en el sistema de recolección.

El objetivo principal del cribado y de la eliminación de gravilla es eliminar los materiales que podrían afectar a los procesos posteriores dañando los equipos, obstruyendo tuberías o bombas, o reduciendo la eficacia de los procesos de tratamiento. El cribado y la eliminación de gravilla también pueden ayudar a controlar los olores y proteger la salud y la seguridad de los operadores de la planta.

## Cribado

El cribado grueso separa los materiales más grandes —como ramas de árboles, piedras, trapos, latas y madera— de las aguas residuales al hacerlas pasar a través de barras paralelas dispuestas verticalmente. Las aguas residuales pasan a través de las barras, y estas retienen las piezas más grandes.

Es necesario limpiar las rejillas con frecuencia, ya que la acumulación excesiva de materiales impedirá el flujo de aguas residuales hacia la planta. En las plantas más pequeñas, a veces las cribas se limpian manualmente con un rastrillo de mano. En los sistemas con alcantarillado sanitario y pluvial combinado, el volumen de material cribado puede ser mucho mayor durante episodios de lluvias intensas



*Criba de barra de afluente pequeño*

## *Toallitas húmedas a la basura*

Desechar toallitas húmedas por el inodoro puede causar graves problemas en los sistemas de recolección, ya que la mayoría no se descomponen como el papel higiénico. En cambio, pueden obstruir las tuberías, dañar las bombas y combinarse con la grasa para crear bloqueos conocidos como "*fatbergs*". Estas obstrucciones pueden causar atascos en el alcantarillado y reparaciones costosas. Incluso las toallitas húmedas etiquetadas como "desechables por el inodoro" pueden no disolverse con la suficiente rapidez, así que la mejor manera de proteger las tuberías y el sistema de alcantarillado es desechar las toallitas en la basura, en lugar de colocarlas en el inodoro.

que en los sistemas que solo gestionan aguas residuales sanitarias. Las plantas de mayor tamaño suelen utilizar algún tipo de limpieza mecánica.

Los sólidos separados de las aguas residuales se incineran o se envían a un vertedero. Es posible que sea necesario prensar los residuos del cribado para eliminar el exceso de agua y cumplir con las regulaciones de los vertederos.



*Desplazadores roscados de afluentes*

## Trituración

En lugar de filtrar los materiales gruesos de las aguas residuales, algunos sistemas trituran el material en trozos más pequeños que luego se eliminan mediante procesos posteriores. Las trituradoras también reciben el nombre de **maceradores**, según su modo de funcionamiento. Utilizan cuchillas o dientes para reducir el tamaño del material grueso. Cuando estos dispositivos se utilizan en lugar de rejillas y cribas, pueden ir precedidos de una cámara de gravilla para eliminar partículas, como grava y arena, que causarían desgaste en las trituradoras. Las trituradoras también se utilizan a veces en estaciones elevadoras para proteger las bombas de materiales gruesos, especialmente en áreas con climas fríos, donde el material cribado podría congelarse sobre las rejillas o la criba.



*Maceradores de trituración de afluentes*

## Eliminación de gravilla

Los procesos de eliminación de gravilla suelen realizarse mediante rejillas o cribas. El objetivo es eliminar las partículas inorgánicas, como arena, cenizas y grava. Estas partículas son lo suficientemente pequeñas como para pasar a través de las rejillas de cribado, pero pueden causar problemas en los procesos posteriores, como la abrasión de los equipos, la obstrucción de las tuberías o la acumulación en el proceso de manejo de sólidos, que está previsto principalmente para material orgánico (descomponible). Algunos materiales orgánicos más pesados, como granos de maíz, posos de café, cáscaras de huevo y fragmentos de hueso, también se eliminan en forma de gravilla.

La eliminación de gravilla se realiza mediante la gravedad, la fuerza centrífuga o una combinación de ambas. En el tipo más sencillo de cámara de gravilla, las aguas residuales fluyen a través de una cámara con una ligera pendiente en la que se controla la velocidad para mantener una velocidad de aproximadamente un pie por segundo. Esto permite que la gravilla más pesada (principalmente inorgánica) se sedimente, mientras que el material orgánico más ligero permanece en suspensión en el flujo de aguas residuales. En las plantas de tratamiento de aguas residuales más pequeñas, la gravilla depositada puede eliminarse mecánicamente con raspadores o palearse a mano.

Las cámaras de gravilla aireadas utilizan aire comprimido para crear un flujo en espiral que facilita la separación de la gravilla. Las cámaras de gravilla de tipo vórtice utilizan ya sea una turbina o la configuración de la unidad para crear un flujo ciclónico que emplea la gravedad y la fuerza centrífuga para separar la gravilla inorgánica más pesada. En algunas plantas, la gravilla se procesa adicionalmente o se lava para eliminar los restos de materia orgánica.

## Ecualización de flujo

La ecualización de flujo implica amortiguar las variaciones en el volumen y las concentraciones de contaminantes de las aguas residuales entrantes.

Las variaciones de flujo ocurren diaria, periódica o estacionalmente. Recordemos que el flujo pico de aguas residuales refleja el consumo de agua, con un pico por la mañana cuando las personas se preparan para ir al trabajo y a la escuela, y otro pico por la tarde cuando las personas preparan las comidas y se alistan para dormir. También ocurren variaciones durante la temporada de lluvias o estacionalmente, como en zonas sujetas a patrones turísticos estacionales.



*Ecualización de flujo*

La ecualización de flujo beneficia al sistema porque se necesitaría una instalación más grande y costosa para tratar los flujos pico, en comparación con el flujo promedio. Además, beneficia a los procesos de tratamiento aguas abajo, ya que minimiza el efecto de las cargas de choque en las que una gran cantidad de aguas residuales concentradas afecta negativamente a los procesos biológicos, y hace que la calidad de las aguas residuales sea más uniforme.

La ecualización de flujo puede realizarse en línea, de modo que todo el flujo de aguas residuales pase a través de un depósito de ecualización. Los flujos pico se retienen temporalmente en el depósito, y una estación de bombeo libera un flujo controlado hacia los procesos de tratamiento posteriores. Este método se utiliza con mayor frecuencia para abordar las variaciones de flujo previstas durante el día, con el fin de distribuir de manera uniforme el flujo diario promedio recibido durante un período de 24 horas.

Las variaciones estacionales o las derivadas de las lluvias son más difíciles de manejar. Estas variaciones pueden ser enormes para sistemas con mucha afluencia e infiltración y para aquellos con alcantarillado sanitario y pluvial combinado. Es importante abordar la afluencia y la infiltración mediante evaluaciones periódicas del sistema y reparaciones oportunas. Cabe señalar que, si bien ya no se permiten los sistemas de alcantarillado combinado, estos siguen presentes en muchas comunidades con infraestructuras antiguas, cuya reparación resulta difícil y sumamente costosa.

Para abordar parcialmente las variaciones de flujo estacionales y las debidas a la lluvia, se pueden idear sistemas fuera de línea para desviar únicamente las aguas residuales de desbordamiento al depósito de ecualización, donde se retienen para su liberación lenta a la planta. Los depósitos de retención fuera de línea se utilizan con frecuencia para captar el caudal inicial de aguas residuales durante episodios de lluvias intensas en sistemas con alcantarillado combinado o en aquellos con una afluencia considerable. En los sistemas de alcantarillado combinado, esta “primera descarga” suele tener una mayor concentración de aguas residuales que el resto del flujo de aguas pluviales debido a los materiales acumulados que son arrastrados al alcantarillado pluvial desde las calles y los jardines. Dependiendo de su configuración, los depósitos fuera de línea pueden ofrecer una menor capacidad para igualar las variaciones del flujo diarias.

## Gestión de residuos sépticos

Muchas plantas de tratamiento aceptan **residuos sépticos**, que es el material bombeado desde los tanques de pozos sépticos del sistema de aguas residuales in situ y las trampas de grasa. Los sistemas de tratamiento que aceptan residuos sépticos deben diseñarse y tener la capacidad para ello, además de contar con un programa de monitoreo y control para evitar fallas en el sistema o problemas de cumplimiento de los permisos de descarga. Los residuos sépticos y de trampas de grasa pueden tener una concentración significativamente mayor de DBO, sólidos en suspensión, grasas, aceites y lubricantes, en comparación con las aguas residuales domésticas típicas.

Algunas comunidades tienen ordenanzas que regulan los residuos sépticos, incluyendo el punto del sistema donde se pueden agregar y los requisitos para el muestreo. Es posible que no se permita el vertido de residuos de trampas de grasa debido a que la grasa concentrada obstruye las bombas, los filtros y otros procesos de tratamiento.

El tratamiento preliminar de los residuos sépticos puede requerir aireación u otro tratamiento previo si el volumen de estos es significativo en relación con el flujo total de la planta.

### Control de olores

El control de olores es un tema general en las plantas, pero resulta especialmente relevante en los procesos de tratamiento preliminar. Los olores pueden ser especialmente fuertes en el área de la cabecera de la planta. Los olores también pueden generarse en los depósitos de ecualización de flujo —especialmente si reciben residuos sépticos— y por la acumulación de material cribado de las rejillas. Existen diversas prácticas para el control de olores, las cuales incluyen la eliminación frecuente de residuos, la aireación, la oxidación química y el uso de unidades especiales para el control de olores.

### Consideraciones comerciales e industriales

Con frecuencia, se solicita o se exige a los usuarios industriales y comerciales que pretraten sus aguas residuales antes de que ingresen al sistema de alcantarillado de recolección. El sistema de tratamiento receptor puede emitir a la industria un permiso de pretratamiento que especifica los componentes del tratamiento, los límites de descarga



*Tanques de aireación de lodos activados*

de contaminantes y los requisitos de monitoreo e informes que deben cumplirse junto con su permiso para descargar en el sistema de la comunidad. En las zonas donde prevalecen establecimientos de servicio de alimentos, los programas de control de grasas son (o deberían ser) obligatorios, generalmente regulando la ubicación, el tamaño y el diseño de los interceptores de grasa, así como la frecuencia de mantenimiento, y estableciendo protocolos continuos de inspección y cumplimiento.

## Conclusiones clave: Tratamiento preliminar

El tratamiento preliminar elimina los residuos grandes, la gravilla y otros materiales que podrían dañar los equipos, obstruir las tuberías o reducir la eficacia del tratamiento. También ayuda a controlar los olores y protege a los operarios de las plantas. Existen varios tipos de métodos y consideraciones de tratamiento preliminar:

- **Cribado**: Los tamices de malla gruesa eliminan objetos grandes como ramas de árboles, trapos y plásticos. Es necesaria una limpieza periódica para evitar obstrucciones, y los residuos recolectados se depositan en un vertedero o se incineran.
- **Trituración**: Algunos sistemas muelen los materiales gruesos en trozos más pequeños para facilitar su posterior procesamiento. Esto protege la infraestructura de tratamiento.
- **Eliminación de gravilla**: Se eliminan las partículas inorgánicas como arena, grava y cáscaras de huevo para evitar el desgaste de los equipos y la obstrucción del sistema. Este proceso se basa en la gravedad, la fuerza centrífuga o la aireación para separar las partículas más pesadas.
- **Ecualización de flujo**: Amortigua las fluctuaciones en el flujo de aguas residuales, por ejemplo, mediante un depósito de ecualización, evitando sobrecargas del sistema debido a flujos pico o condiciones climáticas y garantizando un tratamiento constante.
- **Gestión de residuos sépticos**: Las plantas de tratamiento pueden aceptar residuos de sistemas sépticos y trampas de grasa, pero se requiere un manejo y una supervisión especiales.
- **Control de olores**: Estrategias como la aireación, la oxidación química y la eliminación frecuente de materiales retenidos ayudan a controlar los olores, especialmente en el área de la cabecera de la planta.
- **Pretratamiento industrial y comercial**: Es posible que las empresas deban pretratar sus aguas residuales antes de su vertido para cumplir con las regulaciones locales, especialmente en lo que respecta al control de grasas en los establecimientos de servicio de alimentos.

## Tratamiento primario (separación de sólidos)

| LAS ETAPAS EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES |
|---|
| Tratamiento preliminar (A) |
| Tratamiento primario (B) |
| Tratamiento secundario (C) |
| Desinfección (D) |
| Manejo de sólidos (E) |
| Eliminación definitiva o reutilización (F) |
| Consulte el diagrama que muestra estos pasos en la página 21 |

El **tratamiento primario** se centra en la separación de sólidos y líquidos. Consiste en dejar que las aguas residuales fluyan lentamente a través de uno o varios tanques que permiten que los sólidos sedimentables y los materiales flotantes se separen de las aguas residuales. Estos tanques se denominan clarificadores primarios o tanques de sedimentación primaria. Por lo general, se dispone de al menos dos tanques, configurados de manera que uno de ellos pueda sacarse del servicio para mantenimiento.

El tanque está diseñado para permitir la estratificación de los materiales: los sólidos más pesados y sedimentables se hunden hasta el fondo, y los materiales flotantes suben a la superficie. El patrón de flujo y la menor velocidad están diseñados para mejorar el proceso. Los sólidos sedimentados se barren o raspan mecánicamente y se depositan en una tolva para su almacenamiento temporal, para luego bombearse a un digestor. Los sólidos eliminados se denominan **lodos** primarios. La capa flotante se retira mediante espumadoras mecánicas o agua pulverizada para procesamientos adicionales.

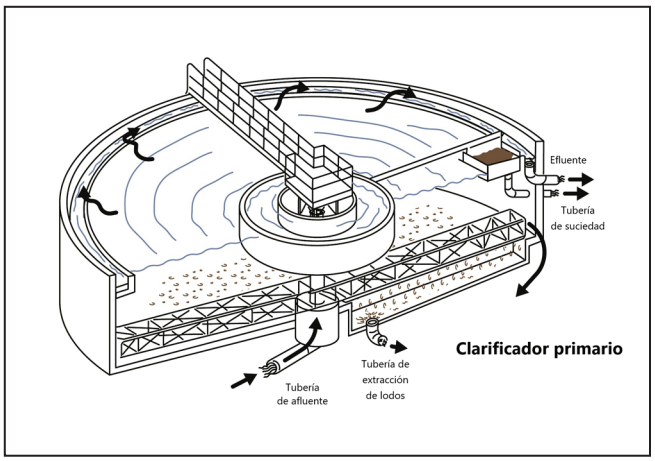


*Clarificador primario*

La cantidad de sólidos separados durante la sedimentación primaria varía en función del tiempo de retención en el tanque, así como la configuración del tanque y la calidad de las aguas residuales. Otros factores incluyen la frescura de las aguas residuales, su temperatura, la densidad de las partículas sólidas y si hay contribuyentes industriales en las aguas residuales. Es importante tener en cuenta que el uso de productos químicos para cualquier separación sólido-líquido aumentará la cantidad de sólidos o lodos que se generen. En plantas bien diseñadas y operadas, se pueden lograr tasas de eliminación de entre el 50 y el 70 por ciento de los sólidos en suspensión, y entre el 20 y el 40 por ciento de la DBO durante el tratamiento primario. Algunas plantas pueden agregar productos químicos para mejorar la capacidad de las pequeñas partículas sólidas en suspensión para coagularse en masas más pesadas y fáciles de sedimentar. En la mayoría de las plantas, sin embargo, el tratamiento primario depende totalmente de la gravedad.

## Tratamiento secundario (tratamiento de contaminantes orgánicos)

| LAS ETAPAS EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES |
|---|
| Tratamiento preliminar (A) |
| Tratamiento primario (B) |
| Tratamiento secundario (C) |
| Desinfección (D) |
| Manejo de sólidos (E) |
| Eliminación definitiva o reutilización (F) |
| Consulte el diagrama que muestra estos pasos en la página 21 |



El **tratamiento secundario** implica el tratamiento biológico de contaminantes orgánicos. Reduce la cantidad de sólidos orgánicos restantes, que ahora están principalmente disueltos y coloidales (partículas diminutas que no se sedimentan por gravedad), así como la DBO asociada a los sólidos. Este paso también da como resultado la transformación química de algunos componentes de las aguas residuales, como el cambio del nitrógeno amoniacal a nitrato (**nitrificación**).

El tratamiento secundario es un proceso biológico que se basa en microorganismos para descomponer la materia orgánica restante en las aguas residuales. Los microorganismos son una mezcla de bacterias, protozoos, hongos, rotíferos y nematodos, aunque la mayor parte del trabajo la realizan las bacterias. Las aguas residuales sirven como fuente de alimento para los microorganismos. La mayoría de los procesos de tratamiento secundario son **aeróbicos**, lo que significa que dependen de microorganismos que utilizan oxígeno disuelto.

El tratamiento secundario debe producir un efluente con un contenido medio de DBO de 30 mg/l, total de sólidos en suspensión de 30 mg/l y un pH entre 6.0 y 9.0 en todo momento. Es posible que algunas plantas deban cumplir con estándares más estrictos.

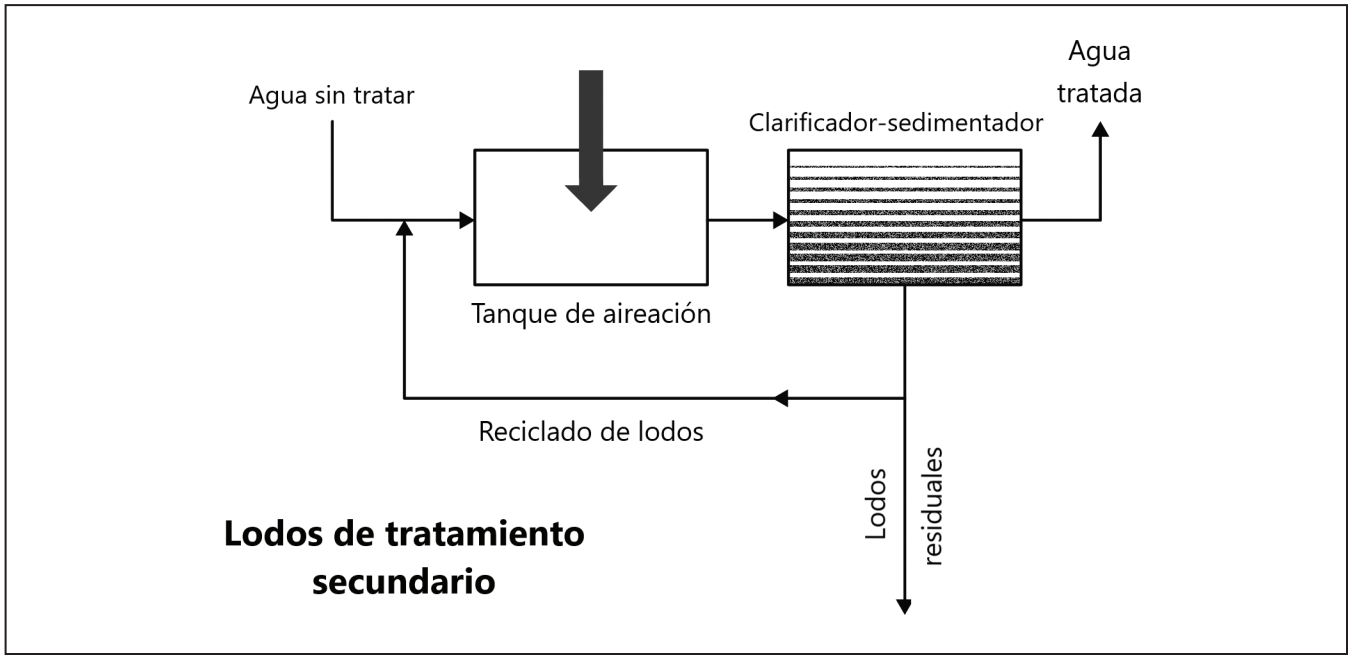
Los procesos de tratamiento secundario se dividen normalmente en dos categorías:

- En **sistemas de crecimiento en suspensión**, los microorganismos que proporcionan el tratamiento se mezclan con las aguas residuales. El sistema de lodos activados es el tipo más común de sistema de crecimiento en suspensión. Los microorganismos forman un material **flóculo** gelatinoso en suspensión (grumos de sólidos) compuesto de microorganismos más partículas suspendidas no descomponibles, que se denominan colectivamente **lodos activados**.
- En **sistemas de crecimiento adherido de película fija**, los microorganismos (o biomasa) crecen en la superficie de un medio. Las aguas residuales circulan sobre la superficie/medio de biomasa, y los microorganismos consumen y descomponen la materia orgánica. Algunos ejemplos de sistemas de crecimiento adherido son los filtros de goteo y los contactores biológicos rotativos.

Cada vez hay más sistemas que cuentan con características tanto de sistemas de crecimiento adherido como de sistemas de crecimiento en suspensión. También existen muchas variaciones tanto en los sistemas de crecimiento en suspensión como en los de crecimiento adherido.

## Sistemas de crecimiento en suspensión: Lodos activados

El proceso de lodos activados utiliza microorganismos que se alimentan proporcionalmente de los contaminantes orgánicos disueltos en las aguas residuales, produciendo un efluente de alta calidad. Un principio básico en todos los procesos de lodos



activados es que, a medida que los microorganismos crecen, forman partículas que se agrupan. Se deja que estas partículas (flóculos) se depositen en el fondo del tanque, dejando un líquido relativamente claro, libre de materia orgánica y sólidos en suspensión.

En términos sencillos, las aguas residuales procedentes del tratamiento primario —o el afluente sin tratar si no se utiliza ningún tratamiento primario— se mezclan con microorganismos en un tanque de aireación. Este tanque actúa como un reactor biológico. La mezcla, llamada **licor mixto**, se mezcla y se le suministra aire continuamente para proporcionar oxígeno y mantener los microorganismos en suspensión. Tras un tiempo de tratamiento suficiente, el licor mixto fluye hacia un clarificador secundario, donde los sólidos se sedimentan. Algunos de estos sólidos se eliminan y el agua parcialmente tratada pasa a la siguiente etapa del tratamiento. Los sólidos sedimentados, conocidos como **lodos activados**, se devuelven al tanque de aireación para continuar el proceso.



*Tanque de aireación de lodos activados*

Las plantas de lodos activados bien gestionadas son capaces de producir efluentes de alta calidad. Además, gracias a su escalabilidad, pueden tener costos de construcción relativamente bajos y requerir poco terreno, lo que las convierte en una solución adecuada para diversas comunidades y necesidades. El proceso de lodos activados es ampliamente utilizado por grandes ciudades y comunidades donde se deben tratar grandes volúmenes de aguas residuales a un costo bajo. Las plantas compactas de lodos activados se utilizan con frecuencia en instalaciones aisladas (como hospitales u hoteles), en agrupaciones de edificios, urbanizaciones y pequeñas comunidades rurales.

Un proceso básico de lodos activados consta de varios componentes interrelacionados:

- un tanque de aireación donde ocurren las reacciones biológicas;
- una fuente de aireación que proporciona oxígeno y mezclado;
- un tanque, conocido como clarificador secundario, donde los sólidos se sedimentan y se separan de las aguas residuales tratadas;
- un medio para recolectar los sólidos, ya sea para devolverlos al tanque de aireación (lodos activados de recirculación) o para eliminarlos del proceso (lodos activados de desecho).



*Tanque de aireación prolongada*

Las bacterias aeróbicas proliferan a medida que se desplazan por el tanque de aireación. Se multiplican rápidamente con suficiente alimento y oxígeno. Para cuando los desechos llegan al final del tanque, las bacterias ya han consumido la mayor parte de la materia orgánica para producir nuevas células.

Los organismos se depositan en el fondo del tanque clarificador secundario, separándose del agua más clara. Este lodo se bombea de vuelta al tanque de aireación, donde se mezcla con las aguas residuales entrantes o se elimina del sistema como exceso, un proceso llamado **purga**. El líquido relativamente claro que se encuentra sobre el lodo, llamado **sobrenadante**, se envía para recibir tratamiento adicional según sea necesario.

Dado que el tratamiento con lodos activados es un proceso biológico, el monitoreo de las características biológicas de los lodos proporciona al operador información importante sobre el estado del sistema. El funcionamiento eficiente se garantiza manteniendo registros precisos y actualizados, evaluando periódicamente los datos operativos y de laboratorio y anticipando los problemas antes de que se agraven. Se recomienda una amplia gama de métodos de pruebas de laboratorio, visuales y físicas. Principalmente, estas pruebas incluyen el desempeño en cuanto a la floculación y la sedimentabilidad mediante una prueba

de frasco, la identificación microscópica de los tipos predominantes de bacterias y el análisis de diversos parámetros químicos.

El entorno de tratamiento impacta directamente a los microorganismos. Los cambios en los alimentos, el oxígeno disuelto, la temperatura, el pH, el total de sólidos disueltos, la antigüedad del lodo, la presencia de toxinas y otros factores crean un entorno dinámico para los organismos del tratamiento. El operador puede modificar el entorno (el proceso) para fomentar o desalentar el crecimiento de microorganismos específicos.

Las pruebas químicas revelan las condiciones de los lodos y pueden alertar sobre posibles problemas en el proceso. El cumplimiento del permiso NPDES de la planta requiere análisis químicos específicos. La alcalinidad, los sólidos (totales, en suspensión y disueltos), la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno, el nitrógeno y el fósforo son algunos de los parámetros que los operadores de la planta deben monitorear.

### Variaciones de la tecnología de lodos activados

El proceso de lodos activados puede incorporarse a diversas configuraciones del diseño de una planta, incluyendo la aireación prolongada, los reactores secuenciales por lotes (SBR) y las zanjas de oxidación.

### Aireación prolongada

La **aireación prolongada** es una modificación del proceso de lodos activados en la que las aguas residuales se retienen en un tanque de aireación durante un período prolongado, normalmente 18 horas o más. Durante este tiempo, los microorganismos eliminan los desechos orgánicos en condiciones aeróbicas. El aire se suministra mediante sistemas de aireación mecánicos o por difusión, que también proporcionan el mezclado.

En la mayoría de las plantas de aireación integrada, las aguas residuales fluyen directamente desde una estación elevadora o un depósito de ecualización al tanque de aireación, sin tratamiento primario. En el tanque de aireación, las aguas residuales se mezclan con microorganismos y se agregar oxígeno para favorecer el tratamiento biológico.

Tras la aireación, el licor mixto fluye hacia un clarificador secundario, donde los sólidos biológicos se dejan sedimentar. Una parte de los sólidos sedimentados, conocidos como lodos activados, se devuelve al tanque de aireación para mantener una población microbiana activa. Los sólidos sobrantes se desechan según sea necesario para controlar el proceso. Las aguas residuales clarificadas fluyen hacia un canal de recolección antes de ser desviadas al sistema de desinfección.

La aireación prolongada es el proceso utilizado en muchas plantas prefabricadas que atienden a escuelas, urbanizaciones y pequeñas comunidades. Debido a que operan con bajas proporciones de alimento por microorganismo, se consideran entre los procesos de tratamiento de aguas residuales más estables.

Los sistemas de aireación extendida pueden soportar cargas periódicas (intermitentes) sin alteraciones significativas. Además, generan una cantidad de lodos residuales similar o inferior a la de otros procesos, aunque sigue siendo necesaria la purga de lodos periódica para mantener un control adecuado del proceso.

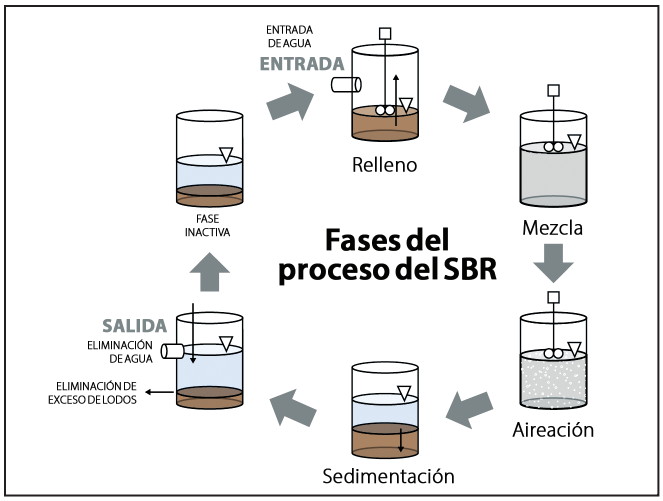
### Reactores secuenciales por lotes

Un **reactor secuencial por lotes (SBR)** utiliza un solo tanque para todo el proceso de tratamiento, a diferencia de un sistema convencional de lodos activados, que utiliza un tanque de aireación y un clarificador. Los sistemas de SBR constan de cinco pasos comunes que se llevan a cabo en secuencia:

1. Llenado
2. Reacción (aireación)
3. Asentamiento (sedimentación/clarificación)
4. Extracción (el efluente se decanta)
5. Inactividad

La purga de lodos generalmente ocurre al final de la fase de sedimentación. El SBR actúa como un depósito de ecualización cuando se llena con aguas residuales, lo que permite que el sistema tolere flujos o cargas pico. El ajuste de la duración total de los ciclos también se utiliza para manejar las variaciones de flujo o concentración en un SBR. Si se reciben grandes flujos con bajo contenido orgánico, se reducen los tiempos de los ciclos y, si se recibe una alta concentración orgánica en flujos bajos, se aumentan los tiempos de tratamiento de los ciclos.

Durante este proceso, el efluente entra en un reactor parcialmente lleno. Una vez que el reactor está lleno, funciona como un sistema convencional de lodos activados, pero sin un flujo continuo de afluente o efluente. Una vez completadas las reacciones biológicas, se interrumpe la aireación y el mezclado, se deja que los sólidos se sedimenten y se retira el efluente tratado (sobrenadante).




Los sólidos en exceso se eliminan en cualquier momento del ciclo.



*Reactor SBR: vacío*

Los SBR se suelen usar en aplicaciones donde el flujo es de 5 millones de galones por día o menos. Debido a su tamaño relativamente reducido, son útiles en zonas donde el terreno disponible es limitado. Además, es fácil modificar los ciclos dentro del sistema para la eliminación de nutrientes, si es necesario. Los SBR son rentables si se requiere un tratamiento que vaya más allá del tratamiento biológico, como la filtración. Los SBR también ofrecen un potencial ahorro en los costos de capital al eliminar la necesidad de clarificadores. Los SBR requieren un mantenimiento sofisticado debido a las unidades de temporización y los controles. La mayoría ahora están computarizados para simplificar las operaciones.

## Zanjas de oxidación

La **zanja de oxidación** es otra variante del proceso de lodos activados. Consiste en un canal anular u ovalado equipado con dispositivos de aireación mecánica, como rotores de cepillo o aireadores de disco.



*Zanja de oxidación*

Las zanjas de oxidación generalmente funcionan en un modo de aireación prolongada con largos tiempos de retención de sólidos. Los sólidos se mantienen en suspensión a medida que el licor mixto circula por el canal. Los tanques de sedimentación secundaria se utilizan para la mayoría de las aplicaciones.

Las plantas de procesamiento con zanjas de oxidación pueden diseñarse para lograr objetivos específicos, como la nitrificación o la eliminación de fósforo biológico. Debido al nivel constante del agua y a la descarga continua, la tecnología de zanjas de oxidación no causa el aumento repentino de efluentes que se produce en otros procesos biológicos, como los SBR.

## Sistemas de crecimiento adheridos

Los sistemas de **crecimiento adherido** o de película fija utilizan organismos que están adheridos a un filtro o sustrato. El principio de tratamiento es similar al de los sistemas de crecimiento en suspensión: los microorganismos “consumen” la materia orgánica restante en las aguas residuales, eliminando al mismo tiempo la mayor parte de la DBO restante. Los sistemas de crecimiento adherido también pueden ser efectivos para la nitrificación (la conversión de amoníaco en nitrato).

En todos los casos, los filtros de crecimiento adherido actúan como dispositivos de tratamiento secundario tras el tratamiento primario. Las aguas residuales sin tratar deben tratarse previamente para eliminar los sólidos de mayor tamaño y los residuos flotantes, ya que estos sólidos pueden obstruir el biofiltro.

Existen dos diseños básicos de sistemas de crecimiento adherido o de película fija: aquellos que mantienen el filtro en su lugar, permitiendo que las aguas residuales fluyan sobre el lecho (como los filtros de goteo) y aquellos en los que el filtro está en movimiento con respecto a las aguas residuales

(p. ej., discos biológicos rotativos). En la mayoría de los casos, los desagües situados debajo del filtro recolectan el efluente y lo envían de vuelta a través de la unidad o a un tratamiento adicional.

Las principales ventajas de los procesos de crecimiento adherido —en comparación con el proceso de lodos activados— son menores requerimientos energéticos, un funcionamiento más sencillo, menor mantenimiento y una mejor recuperación ante cargas de choque. Los procesos de crecimiento adherido en el tratamiento de aguas residuales son muy eficaces para la eliminación de la DBO y la nitrificación. Entre sus desventajas, se incluyen la necesidad de mayor terreno, un funcionamiento deficiente en climas fríos y posibles problemas de olores.

Dos tipos de sistemas de crecimiento adherido que se utilizan con frecuencia en las plantas de tratamiento de aguas residuales son los filtros de goteo y los contactores biológicos rotativos.

### *Filtros de goteo*

Los **filtros de goteo** son, por mucho, el proceso de crecimiento adherido más antiguo. Esta sencilla tecnología se ha utilizado durante casi 100 años para proporcionar un tratamiento biológico de aguas residuales de bajo costo y que requiere poco mantenimiento.

Aunque se les denomina “filtros”, no están diseñados para proporcionar una filtración física real. El filtro está diseñado únicamente para servir como lugar de fijación para los organismos biológicos que proporcionan el tratamiento.

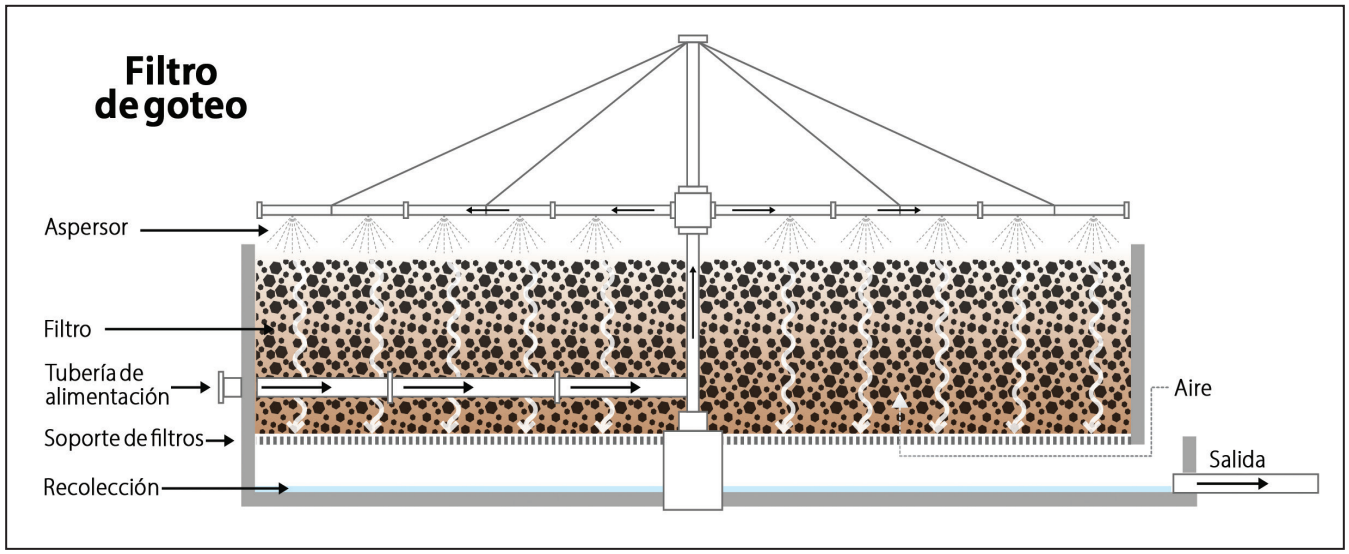
El diseño más común es el filtro de goteo no sumergido. Las aguas residuales se aplican a la superficie del filtro, por ejemplo, un lecho de rocas, grava o plástico. Las aguas residuales se filtran a través del lecho filtrante hasta un desagüe, donde se recolectan y se descargan o se reciclan para su tratamiento adicional. La composición, el tamaño, la uniformidad y la profundidad del filtro influyen en el rendimiento.

Sobre la grava o el plástico se forma una película biológica gelatinosa donde la biomasa en crecimiento descompone la materia orgánica. La película se vuelve muy gruesa y, eventualmente, trozos se desprenden de la superficie de soporte y una nueva capa de limo comienza a crecer en su lugar. Este desprendimiento debería ser un proceso continuo si el sistema se gestiona correctamente. Sin la acción de desprendimiento, el filtro se obstruiría y se desarrollarían condiciones anaeróbicas.

El líquido recolectado se transfiere a un tanque de sedimentación secundario, donde los sólidos se separan de las aguas residuales tratadas. Los cúmulos de biomasa que se desprenden deben tratarse como sólidos en suspensión.



*Filtro de goteo*



Los lechos de los filtros de goteo convencionales están formados por trozos de roca triturada, escoria o grava de 2 a 3 pulgadas de diámetro. El lecho suele tener entre 6 y 10 pies de profundidad y se mantiene en su lugar mediante un depósito de hormigón reforzado. Cuando el filtro está compuesto por tubos de plástico, que son muy ligeros, la altura puede ser mucho mayor. Estos sistemas a veces se denominan filtros de goteo en torre o biotorres. La mayoría de los filtros de goteo modernos utilizan un relleno de plástico como filtro de trabajo.

Los filtros de goteo convencionales son redondos y tienen brazos giratorios para la distribución de las aguas residuales. Las boquillas situadas en los brazos rocían las aguas residuales de manera uniforme sobre el filtro. Las corrientes de aire naturales se generan por las diferencias de temperatura entre el aire exterior y el aire que hay dentro del filtro. Los filtros de torre profunda a veces requieren un suministro de aire adicional. La temperatura de las aguas residuales es más importante para el éxito del proceso que la temperatura del aire.

Los filtros de goteo son muy fiables si las condiciones de operación se mantienen estables y la temperatura de las aguas residuales no desciende por debajo de 55º F durante períodos prolongados.

El desprendimiento tiende a producirse durante los cambios de temperatura estacionales. Debido a que el proceso es sencillo de operar, la fiabilidad mecánica es alta. El proceso de filtración por goteo es eficaz para eliminar materiales en suspensión, pero es menos eficaz para eliminar compuestos orgánicos solubles.

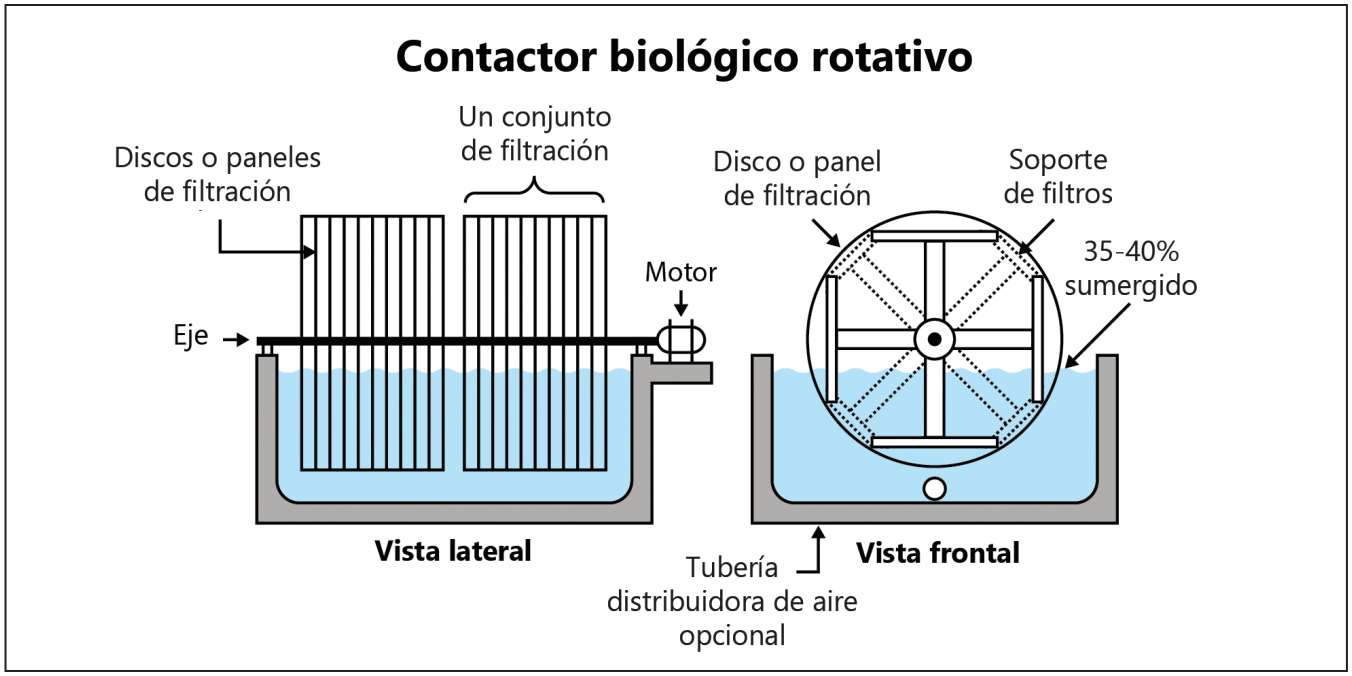
### *Contactores biológicos rotativos*

Los **contactores biológicos rotativos** (RBC) consisten en una serie de discos circulares de plástico, muy juntos entre sí, montados sobre un eje. Los discos están parcialmente sumergidos en aguas residuales y giran lentamente a través de ellas. La superficie de los discos proporciona un lugar de fijación para las bacterias. El oxígeno se suministra a medida que los discos entran y salen del agua.

Los sólidos se mantienen en suspensión debido a la acción de mezclado del medio giratorio. El exceso de lodo en los discos se desprende ocasionalmente, al igual que en los sistemas de filtros de goteo.

Los discos generalmente están fabricados de polietileno de alta densidad o poliestireno expandido, y generalmente presentan estrías, ondulaciones o una estructura reticular para aumentar la superficie disponible.

Estos sistemas deben diseñarse cuidadosamente para evitar el crecimiento excesivo de biopelículas y problemas de desprendimiento, los cuales pueden causar fallas en las piezas mecánicas de la unidad de tratamiento. Los RBC pueden disponerse de diversas maneras, dependiendo de las características específicas del efluente y del diseño del clarificador secundario, y pueden diseñarse específicamente para la eliminación de DBO o la nitrificación.



Los RBC generalmente están recubiertos con una carcasa de fibra de vidrio para proteger los discos del deterioro causado por la luz ultravioleta, con el fin de proteger el proceso de las bajas temperaturas y para controlar la acumulación de algas. Este tipo de tratamiento no funciona bien por debajo de los 55º F.

### Sistemas combinados de crecimiento adherido y crecimiento en suspensión

Algunos sistemas combinan unidades de crecimiento adherido y de crecimiento en suspensión dentro de su proceso de tratamiento secundario. Por lo general, esto implica un filtro de goteo seguido de un depósito de lodos activados aireados y un clarificador. Existen varias configuraciones posibles. La combinación de ambos métodos aprovecha las ventajas de cada tipo de tratamiento, al tiempo que supera algunas de sus desventajas.

Por ejemplo, los sistemas de lodos activados se consideran sensibles a las cargas de choque de aguas residuales de alta concentración, mientras que los filtros percoladores se consideran resistentes a los choques. Tener un filtro de goteo antes del depósito de lodos activados proporciona cierto nivel de protección. Sin embargo, los sistemas de lodos activados permiten un mayor control por parte del operador sobre el proceso que los filtros de goteo.



*Clarificadores finales*

## Desinfección (garantizar la seguridad antes de la descarga)

| LAS ETAPAS EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES |
|---|
| Tratamiento preliminar (A) |
| Tratamiento primario (B) |
| Tratamiento secundario (C) |
| Desinfección (D) |
| Manejo de sólidos (E) |
| Eliminación definitiva o reutilización (F) |
| Consulte el diagrama que muestra estos pasos en la página 21 |

En muchos sistemas, después de que las aguas residuales han recibido un tratamiento secundario, están casi listas para su descarga o eliminación. Es posible que algunos sistemas deban proporcionar primero un tratamiento avanzado (o terciario), lo cual se abordará más adelante.

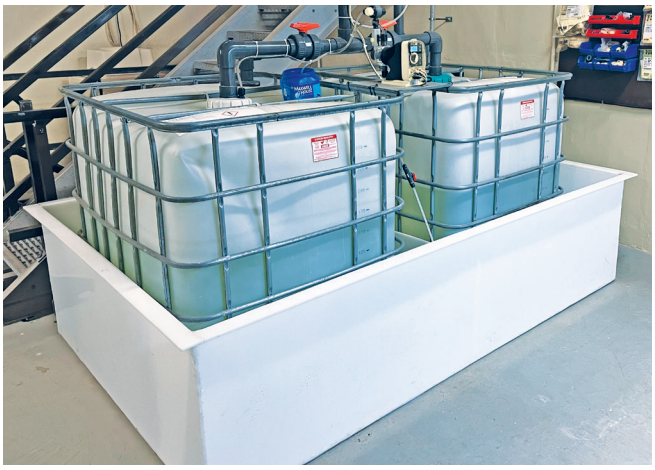
## Conclusiones clave: Tratamiento secundario

Existen dos tipos principales de sistemas de tratamiento secundario:

1. **Sistemas de crecimiento en suspensión**: Los microorganismos permanecen en suspensión en las aguas residuales.
   - **Proceso de lodos activados**: El método más común consiste en que los microorganismos forman flóculos que se asientan en un clarificador secundario. Los lodos asentados se devuelven al tanque de aireación o se eliminan como desechos.
   - **Variaciones**: Aireación prolongada (mayor tiempo de retención, estable para comunidades pequeñas), reactores secuenciales por lote (proceso de un solo tanque con tratamiento por lotes) y zanjas de oxidación (circulación continua de aguas residuales).
2. **Sistemas de crecimiento adherido**: Los microorganismos crecen en un filtro superficial.
   - **Filtros de goteo**: Las aguas residuales fluyen sobre un lecho de rocas, grava o plástico donde los microorganismos degradan la materia orgánica.
   - **Contactores biológicos rotativos (RBC)**: Los discos giran a través de las aguas residuales, favoreciendo el crecimiento microbiano.

Cada método tiene sus ventajas: los sistemas de crecimiento adherido requieren menos mantenimiento, pero necesitan más espacio, mientras que los sistemas de crecimiento en suspensión, como el lodo activado, son más eficientes para el tratamiento a gran escala. Los operadores supervisan la salud microbiana y los factores ambientales para garantizar un tratamiento eficaz.

En los sistemas que no requieren un tratamiento avanzado, el último paso antes de la descarga es la desinfección. Aunque entre el 95 y el 98 por ciento de las bacterias y otros microbios hayan muerto o se hayan eliminado con los sólidos cuando se completa el tratamiento secundario, las aguas residuales aún deben desinfectarse antes de ser vertidas al medio ambiente. Esto se debe a que aún quedan suficientes microbios potencialmente patógenos como para representar un problema de salud pública. Los estados también exigen la desinfección para evitar que el cuerpo de agua receptor supere el estándar de calidad del agua establecido para coliformes fecales o totales. Estas normas varían de un estado a otro y, en ocasiones, también son estacionales.



*Tanques químicos de Hinsdale en planta de tratamiento de aguas residuales con hipoclorito de sodio*

Aunque existen muchas formas de desinfectar las aguas residuales, hay tres opciones de uso común:

- Cloración
- Ozonización
- Radiación con luz ultravioleta

La desinfección elimina o inactiva la mayoría de los microbios restantes. Sin embargo, la desinfección no produce la muerte completa de todos los microbios (esterilización). La efectividad de estos métodos depende de lo siguiente:

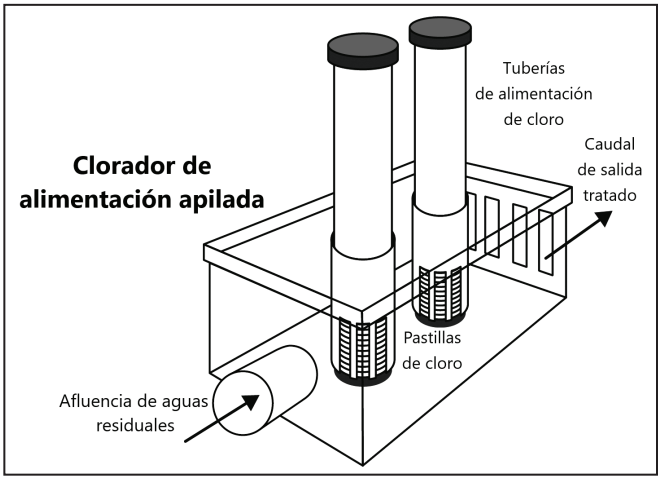
- Tipo de desinfectante
- Concentración o intensidad del desinfectante
- Tiempo de contacto del desinfectante con los organismos objetivo
- Temperatura
- Tolerancia relativa de los organismos objetivo al desinfectante
- Características de las aguas residuales, como su turbidez, color y contenido de sólidos en suspensión, que pueden interferir con el desinfectante

## Cloración

La **cloración** es el método más utilizado para la desinfección de aguas residuales debido a su bajo costo y a su capacidad para desinfectar aguas residuales con dosis relativamente bajas. El cloro está disponible en diversas formas, incluyendo gas cloro licuado en tanques y cilindros presurizados; hipoclorito de sodio (lejía líquida); hipoclorito de calcio, disponible en forma líquida y en forma de gránulos o polvo sólido; y dióxido de cloro, un gas que se genera in situ.



*Tanque de contacto con cloro*



El cloro es un potente oxidante que mata a los microorganismos dañando las proteínas, descomponiendo las paredes celulares e inactivando las enzimas.



*Desinfección con cloro líquido*

Si bien el cloro en sus diversas formas es un desinfectante eficaz y económico, presenta una serie de desventajas. El gas cloro es altamente tóxico, y el riesgo de una fuga accidental representa un peligro significativo para la salud y la seguridad del personal de la planta y del público, ya que los tanques de gas licuado se transportan habitualmente por ferrocarril y camión. La lejía líquida y el hipoclorito de sodio o calcio, que suelen utilizarse en plantas más pequeñas, eliminan algunos riesgos laborales, pero no todos.

Cada vez es más frecuente que se exija la decloración de las aguas residuales cloradas antes de su vertido final al medio ambiente. Esto se debe a que el cloro residual es tóxico para la vida acuática y a que reacciona con la materia orgánica del medio ambiente para formar subproductos de la desinfección (SPD), los cuales también se consideran dañinos para la vida acuática y carcinógenos para los seres humanos.

El método más común para declorar las aguas residuales consiste en inyectar dióxido de azufre gaseoso a presión, lo que requiere sistemas de manipulación y seguridad especializados. Los sistemas más pequeños suelen utilizar alternativas como el metabisulfito de sodio o el bisulfato de sodio, que son más fáciles de manipular y operar a menor escala.

Estos productos químicos pueden disolverse en agua y dosificarse mediante una bomba dosificadora de productos químicos líquidos.

### *Seguridad y manipulación de desinfectantes*

El cloro, ya sea en forma de gas, solución o polvo, es el producto químico más peligroso que se utiliza en la mayoría de los sistemas. El almacenamiento, el uso, el transporte y la protección personal adecuados pueden salvar vidas. La exposición al cloro puede causar lo siguiente:

- Quemaduras en la piel
- Congestión pulmonar
- Edema pulmonar
- Neumonía
- Pleuritis
- Bronquitis
- Muerte

El gas cloro es de color amarillo verdoso. Es mucho más pesado que el aire, lo que significa que se depositará en los puntos más bajos, ya sean las áreas cercanas al suelo de un edificio o un valle poblado situado cuesta abajo de la planta de tratamiento. Los cilindros de gas cloro deben fijarse al suelo o a las paredes y etiquetarse. Los vehículos de transporte y el edificio donde se almacena el cloro deben estar identificados con letreros. El personal de la planta que trabaje con gas cloro debe estar provisto de un equipo de respiración autónoma (ERA) con una máscara ajustada al usuario. El trabajo con cilindros de gas cloro solo debe realizarse en presencia de un compañero capacitado y provisto de un ERA. En caso de fuga en el edificio donde se almacena o se manipula gas cloro, el personal que se encuentre en el edificio debe mantener la cabeza lo más alto posible y abandonar el edificio inmediatamente.

La solución de hipoclorito de sodio es de color amarillo pálido y es muy corrosiva e irritante para la piel y las vías respiratorias. El hipoclorito de calcio en polvo (conocido como HTH en la industria del agua) también es sumamente reactivo. El equipo de protección personal (EPP) adecuado para las formas líquidas y en polvo del cloro incluye lo siguiente:

- Gafas de seguridad o protector facial completo
- Mangas largas
- Guantes de goma
- Respirador (de media cara o de cara completa)
- Pantalones largos
- Zapatos con puntera de acero

Los administradores de la planta deben notificar al personal de emergencia (policía y bomberos) el tipo y la ubicación de los desinfectantes utilizados en la planta.

### Ozonización

El **ozono** es un compuesto de oxígeno inestable ($O_3$). Al igual que el cloro, es un oxidante fuerte que se ha utilizado con éxito durante años como desinfectante, aunque principalmente en plantas de tratamiento de agua potable. Su uso se está extendiendo en las plantas de tratamiento de aguas residuales para la desinfección final, así como para el control de olores y el tratamiento avanzado. El ozono se genera in situ mediante un proceso eléctrico. Es relativamente costoso en comparación con la cloración, lo que ha limitado su uso, especialmente en sistemas pequeños.

### Radiación ultravioleta

La **luz ultravioleta (UV)** tiene una longitud de onda relativamente corta y una capacidad desinfectante eficaz a 254 nanómetros. La luz ultravioleta se ha utilizado durante más de 100 años en diversas aplicaciones germicidas. Se han desarrollado diversos tipos de lámparas UV para su uso en plantas de tratamiento de agua y aguas residuales. La luz ultravioleta penetra y daña el material genético de las bacterias y los virus, lo que impide que se repliquen. A diferencia del cloro y el ozono, la luz ultravioleta es un desinfectante físico, en lugar de un desinfectante químico. No genera residuos químicos ni produce subproductos de desinfección.



*Radiación UV en Hardin Ridge*



*Radiación UV*

La eficacia de la desinfección UV depende de la intensidad de la luz y del tiempo de contacto, que a su vez se ve influenciado por el flujo. Debido a que los sistemas de aguas residuales generalmente presentan una amplia variación en los flujos, un sistema UV suele diseñarse para el flujo máximo.

Si bien la desinfección con rayos UV no conlleva los mismos riesgos que la cloración, sí presenta preocupaciones de seguridad, ya que puede causar daños oculares y quemaduras en la piel.

Históricamente, el uso de la desinfección con luz ultravioleta se vio limitado por su coste relativamente elevado. Sin embargo, debido a los avances en la tecnología UV y a la creciente necesidad de decloración, la desinfección UV se está volviendo más viable económicamente.

## Tratamiento avanzado/terciario (si se requiere eliminación y filtración de nutrientes)

Si bien las definiciones varían, en esta guía, el tratamiento avanzado —o terciario— se refiere a cualquier tipo de tratamiento que vaya más allá del tratamiento secundario. El tratamiento avanzado no es indispensable en todos los casos, pero cada vez es más común, especialmente para sistemas de mayor tamaño. Dado que la mayoría de los sistemas comunitarios pequeños no utilizan tratamientos avanzados, este tema se aborda aquí solo brevemente. Sin embargo, a medida que aumenta la necesidad de proteger las fuentes de agua potable y las zonas sensibles, y las tecnologías emergentes se vuelven más asequibles, es más probable que se apliquen tratamientos avanzados en sistemas más pequeños en el futuro.

Existen varias razones por las que podría ser necesario un tratamiento avanzado. En algunos casos, el tratamiento secundario puede no ser suficiente para proteger la calidad de las aguas superficiales. Esto es especialmente cierto en lo que respecta a los nutrientes de nitrógeno y fósforo. En los casos en que se superen los estándares de calidad del agua para aguas superficiales, las instalaciones de origen puntual pueden estar obligadas por su estado

a reducir la cantidad de contaminantes liberados. Además, a medida que la población y la competencia por los escasos recursos hídricos aumentan, también aumentará el incentivo para reciclar y reutilizar las aguas residuales tratadas. Puede ser necesario un tratamiento avanzado para cumplir con los criterios de reutilización o reciclaje. Las aguas residuales recicladas destinadas a procesos industriales pueden requerir un tratamiento avanzado para evitar la obstrucción de los equipos.

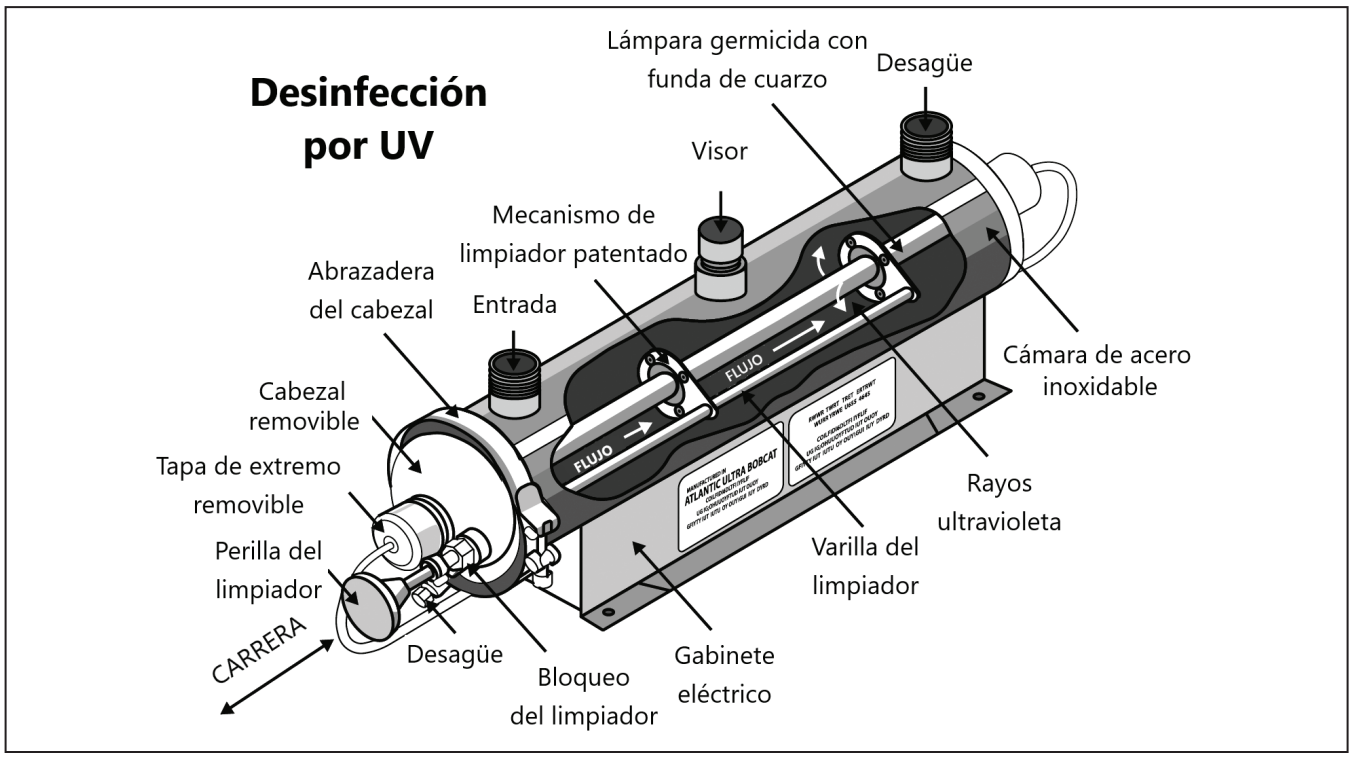
### Eliminación de nutrientes

El nitrógeno y el fósforo pueden eliminarse o reducirse tanto biológicamente como mediante la adición de productos químicos. Los procesos biológicos son variaciones del proceso de lodos activados descrito anteriormente (página 26). Los procesos se manipulan para crear un entorno biológico que dé como resultado la conversión microbiana del nutriente.

Por ejemplo, el nitrógeno en las aguas residuales se encuentra inicialmente en forma de nitrógeno orgánico, que se convierte microbianamente en amoníaco. El amoníaco es tóxico para la vida acuática, pero se convierte fácilmente primero en nitrito y luego en nitrato en un ambiente aeróbico, un proceso llamado nitrificación. Sin embargo, el nitrato es un nutriente que puede causar el crecimiento excesivo de algas y el crecimiento indeseado de plantas en los cuerpos de agua receptores. Para eliminar el nitrato, este debe convertirse en nitrógeno gaseoso, un proceso llamado desnitrificación, que requiere un ambiente con muy poco oxígeno. Al proporcionar ambos tipos de entornos, ya sea simultáneamente o en secuencia, se puede eliminar el nitrógeno.

Tanto el nitrógeno como el fósforo también pueden eliminarse mediante una combinación de métodos químicos y físicos. A veces, el nitrógeno se elimina mediante un proceso llamado **eliminación de amoníaco**. Esto requiere que el pH de las aguas residuales se eleve a un valor entre 10.5 y 11.5 para convertir todos los iones de amonio en amoníaco, que es menos soluble en agua. A continuación, las aguas residuales se pasan por una estructura física llamada torre de eliminación, que permite que el amoníaco escape en forma de gas.

El fósforo se puede eliminar agregando coagulantes, como alumbre, sales de hierro, cal o polímeros orgánicos que reaccionan con el fósforo disuelto para formar una sustancia sólida que se asienta en el fondo y se puede eliminar en un depósito de sedimentación. En ocasiones, el proceso de coagulación puede incorporarse al proceso de tratamiento primario o secundario, y no necesariamente tiene que ser un proceso separado. La coagulación también puede resultar en una mayor eliminación de sólidos en suspensión.



Dependiendo del tipo de tecnología de tratamiento utilizada, la eliminación de nutrientes puede dar como resultado concentraciones de 2 a 8 mg/l de nitrógeno total y menos de 1 mg/l de fósforo total. La eficacia de las opciones para eliminar el nitrógeno o el fósforo dependerá del estado y la forma en que se encuentren los nutrientes en las aguas residuales.

Algunos estados han impuesto límites NPDES tan bajos como 3.0 mg/l para nitrógeno total y 0.3 mg/l para fósforo total para las plantas de tratamiento en el momento del vertido a aguas con bajo contenido de nutrientes.

### Tratamiento avanzado para la eliminación adicional de sólidos en suspensión

Además de nutrientes, las aguas residuales que han recibido un tratamiento secundario aún pueden contener sólidos en suspensión, materia orgánica disuelta y otros contaminantes. Esto podría incluir algunos compuestos orgánicos tóxicos resistentes a la degradación biológica, cantidades ínfimas de compuestos farmacéuticos, detergentes y materia inorgánica disuelta.

Se han desarrollado varios métodos diferentes para lograr una mayor eliminación de los sólidos en suspensión y otros componentes. Un método común es la filtración a través de un medio granular, como **arena**, por ejemplo. Este proceso se ha utilizado durante muchos años para el tratamiento del agua potable, pero también se aplica al tratamiento avanzado de aguas residuales. El tratamiento de filtración de arena generalmente produce concentraciones de DBO y TSS inferiores a 10 mg/l.



*Filtración de arena*

Los procesos de **filtración por membrana**, como la microfiltración, la ultrafiltración, la nanofiltración y la ósmosis inversa, también se están aplicando al tratamiento de aguas residuales. La nanofiltración y la ósmosis inversa son capaces de eliminar partículas tan pequeñas como virus y iones de dureza. Sin embargo, estos procesos requieren mayores niveles de pretratamiento, operación y mantenimiento para evitar la obstrucción de las membranas y garantizar un rendimiento sostenible. Las aguas residuales desechadas durante el proceso de ósmosis inversa pueden estar demasiado concentradas como para reciclarse de nuevo en la planta. El tratamiento de filtración por membrana puede lograr concentraciones de DBO inferiores a 5 mg/l y concentraciones de TSS inferiores a 1 mg/l.

Los **sistemas de biorreactores de membrana (MBR)** combinan tratamientos biológicos, como lodos activados con filtración por membrana, lo que puede ser más eficaz para eliminar sólidos, materia orgánica y patógenos que los sistemas de tratamiento convencionales, y cada vez se incorporan más a sistemas diseñados para producir efluentes con suficiente calidad para su reutilización. Además, tienen la ventaja de no requerir un clarificador secundario independiente después del depósito de tratamiento de lodos activados. Sin embargo, este alto nivel de tratamiento generalmente se asocia a mayores costos iniciales y continuos de operación y mantenimiento.

## Manejo de sólidos

Hemos examinado cómo se tratan las aguas residuales desde el momento en que entran en la planta hasta el momento en que se descarga el líquido tratado.


*Digestor aeróbico de lodos*

Sin embargo, en casi todas las etapas del proceso se producen residuos semisólidos. Por ejemplo, hasta un tercio de la carga de DBO del flujo inicial de aguas residuales termina en el lodo primario, que son los sólidos producidos durante el tratamiento primario. Sin un manejo adecuado, estos sólidos pueden generar un grave problema de olores a medida que se descompone el componente orgánico. Los lodos primarios o secundarios generalmente se estabilizan en digestores aeróbicos o anaeróbicos para eliminar la descomposición de los residuos orgánicos y los problemas de olor, antes de su deshidratación y eliminación.

Aunque nos referimos a estos residuos como sólidos, frecuentemente son más líquidos o semilíquidos que sólidos. Debido a su alto contenido de agua, estos sólidos tienen un gran volumen. Esto hace que sean difíciles de manejar, almacenar y transportar.

Anteriormente, este material residual se conocía como "lodo". Actualmente, el término "lodo" generalmente se refiere solo a los sólidos que aún forman parte del proceso de tratamiento en la planta, como el lodo secundario recolectado del proceso de tratamiento secundario. Una vez que los sólidos se han procesado y cumplen con los criterios para su reutilización beneficiosa, se les denomina biosólidos.

La naturaleza de los sólidos varía considerablemente de un sistema a otro e incluso dentro del mismo sistema. El lodo primario tiene características diferentes al lodo secundario. Los sólidos producidos en una planta de lodos activados son diferentes de los sólidos producidos en un filtro percolador. Algunos procesos de tratamiento funcionan mejor para ciertos tipos de sólidos que para otros.

Algunos de los diferentes procesos de tratamiento para sólidos incluyen el espesamiento, la deshidratación, el acondicionamiento, la estabilización y el secado.

El espesamiento y la deshidratación reducen el volumen de los sólidos. El acondicionamiento ayuda a que el proceso de deshidratación sea más eficaz. La estabilización y el secado producen productos finales libres de patógenos que no se descompondrán ni producirán malos olores.

### Espesamiento

El espesamiento disminuye el volumen de los sólidos al eliminar parte del líquido. Esto se puede lograr por gravedad o por medios mecánicos. Los métodos que



*Espesador aeróbico de lodos*

## Conclusiones clave: Avanzado/terciario

- **Desinfección después del tratamiento secundario**:
  - Las aguas residuales deben desinfectarse antes de su vertido para eliminar los patógenos restantes.
  - Los estados exigen la desinfección para cumplir con los estándares de calidad del agua.
- **Métodos comunes de desinfección**:
  - **Cloración**: Es la opción más común debido a su bajo costo, pero presenta riesgos de toxicidad y puede requerir decloración.
  - **Ozonización**: Oxidante potente utilizado principalmente en el agua potable, pero se está utilizando cada vez más en el tratamiento de aguas residuales.
  - **Radiación ultravioleta (UV)**: Método físico que evita los subproductos químicos, pero que requiere la intensidad y el tiempo de contacto adecuados.
- **Tratamiento avanzado (terciario)**:
  - No siempre es necesario, pero cada vez es más común, especialmente para la eliminación de nutrientes.
  - **Eliminación de nutrientes**:
    - El nitrógeno se elimina mediante procesos biológicos, como la nitrificación y la desnitrificación, o mediante métodos químicos.
    - El fósforo se elimina mediante coagulación con productos químicos, como el alumbre o las sales de hierro.
  - **Métodos de filtración**:
    - La filtración de arena reduce los sólidos en suspensión y la materia orgánica.
    - La filtración por membrana (p. ej., ósmosis inversa, MBR) ofrece una purificación de alto nivel, pero es costosa.

utilizan la gravedad consisten en dejar que el lodo se asiente y se compacte en un tanque similar a un clarificador primario. El lodo compactado se retira del fondo cónico del tanque. Los métodos mecánicos de espesamiento incluyen el uso de centrífugas, espesadores de cinta por gravedad y tambores rotatorios. El preacondicionamiento químico es necesario para que el espesamiento mediante cinta por gravedad y tambor rotatorio sea efectivo.

Aunque el volumen del lodo se reduce considerablemente, el lodo espesado sigue siendo semilíquido y sería necesario transportarlo en un camión cisterna si se trasladara a otra instalación para un tratamiento adicional.

## Deshidratación

Al igual que el espesamiento, la deshidratación reduce el contenido líquido del lodo, haciéndolo más sólido y permitiendo su remoción con palas, su traslado mediante cintas y su transporte en volquetes, en lugar de camiones cisterna. La deshidratación suele ser necesaria si los sólidos finales se van a depositar en vertederos, compostar o incinerar. Los métodos de deshidratación más comunes utilizan diversos tipos de centrífugas, prensas de filtro de banda, lechos de secado y lagunas de secado.

El método de deshidratación más utilizado, especialmente en comunidades pequeñas y rurales, son los lechos de secado de lodos. Los lechos de secado de arena implican extender el lodo sobre una capa de arena de entre 8 y 12 pulgadas de profundidad. La humedad se elimina por drenado a través de la arena y por evaporación. Es necesario un sistema de drenaje subterráneo para la eliminación del agua acumulada. Las ventajas de los lechos de secado son que tienen costos de capital muy bajos, un bajo consumo de energía, requieren poco o ningún acondicionamiento químico y requieren poca habilidad y atención por parte del operador. Sin embargo, ocupan mucho espacio y pueden verse afectadas por las condiciones climáticas. Pueden estar cubiertas en áreas donde la lluvia y la nieve son frecuentes.

Las **lagunas de secado** en ocasiones se han utilizado para deshidratar lodos digeridos, y se emplean principalmente en zonas con altas tasas de evaporación.

## Acondicionamiento

El acondicionamiento generalmente se refiere a la adición de productos químicos al lodo para facilitar el proceso de deshidratación. Los productos químicos acondicionadores incluyen polímeros orgánicos sintéticos y productos químicos inorgánicos, como el cloruro férrico, el alumbre y la cal. Los productos químicos no eliminan directamente el agua del lodo, sino que alteran sus características para que los procesos de deshidratación posteriores sean más eficaces. Los productos químicos suelen aplicarse en forma líquida en lugar de agregarse en seco. Debido a la cantidad agregada, los productos químicos inorgánicos pueden aumentar significativamente el volumen final de los sólidos.

## Estabilización

La estabilización se refiere a los procesos utilizados para producir un producto final que tenga poco o ningún potencial de descomposición adicional y de generar olores indeseables, y que esté libre de patógenos. Algunos métodos de estabilización comúnmente utilizados son la estabilización alcalina, la digestión anaeróbica, la digestión aeróbica y el compostaje. Cada uno de estos métodos tiene diversas variantes.

La **estabilización alcalina** consiste en agregar material alcalino o básico al lodo, lo que eleva el pH a un nivel que elimina los microorganismos. Generalmente, se utiliza cal hidratada o cal viva,



*Deshidratación*



*Sistema de ensacado de lodos deshidratados*



*Lecho de secado de lodos*

aunque a veces también se emplean cenizas volantes y polvo de horno de cemento. Debido a que algunos procesos de estabilización alcalina son exotérmicos (liberan calor), tienen la ventaja de desactivar los huevos de lombrices en el lodo.

La **digestión anaeróbica** consiste en la descomposición controlada de materia orgánica (y parte inorgánica) presente en el lodo, en un recipiente cerrado, calentado y sin oxígeno. Este proceso de fermentación se ha utilizado durante mucho tiempo, lo que ha dado lugar a mejoras continuas. El proceso produce cantidades significativas de gas metano, junto con dióxido de carbono y pequeñas cantidades de otros gases. La cantidad de metano generada puede ser suficiente para que su recolección resulte rentable incluso en plantas más pequeñas. Algunas plantas han generado suficiente calor y energía eléctrica a partir del gas de digestión para operar sus plantas e incluso vender el excedente de electricidad. Sin embargo, la digestión anaeróbica requiere equipos complejos y un manejo bastante especializado.

La **digestión aeróbica** ocurre en presencia de oxígeno, generalmente en recipientes abiertos. De forma similar al proceso de lodos activados, se utilizan microorganismos para consumir el material biodegradable presente en los lodos. Los tiempos de retención son lo suficientemente largos como para que casi todo el material biodegradable se consuma. Las ventajas de la digestión aeróbica son que los costos de capital de un digestor aeróbico son menores que los de un digestor anaeróbico y que el nivel de habilidades necesarias para su operación es menor. Las desventajas son que los digestores aeróbicos requieren una cantidad significativa de energía para mantener los sólidos mezclados y oxigenados, y no producen metano que pueda utilizarse para generar la energía necesaria.

La estabilización por **compostaje** también implica la descomposición de la materia orgánica por microorganismos. El compostaje puede llevarse a cabo en condiciones aeróbicas o anaeróbicas, pero casi siempre se mantienen las condiciones aeróbicas, ya que este proceso es más rápido. Durante una parte del proceso de compostaje se genera calor, lo que ayuda a destruir posibles patógenos. En ocasiones, resulta beneficioso agregar otros materiales, como paja u hojas, a los sólidos con el fin de mejorar el proceso de compostaje. Generalmente, se agregan trozos de madera como agente de volumen para evitar que el material de compostaje se compacte demasiado. Los trozos de madera se pueden cribar posteriormente y reutilizar. El compostaje produce un material de consistencia similar al humus que puede utilizarse en la agricultura.

## Regulación de sólidos

El procesamiento y la disposición final de los sólidos se abordan en las regulaciones de la EPA de 1993, 40 CFR Parte 503, comúnmente conocida como “reglas de la Parte 503”. Estas abordan cómo se pueden aplicar los biosólidos a la tierra, cómo se pueden eliminar, cómo deben estabilizarse para reducir la cantidad de patógenos y hacerlos menos atractivos para los agentes que propagan enfermedades (p. ej., los mosquitos) y los requisitos para las incineradoras que queman biosólidos de aguas residuales.

| LAS ETAPAS EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES |
|---|
| Tratamiento preliminar (A) |
| Tratamiento primario (B) |
| Tratamiento secundario (C) |
| Desinfección (D) |
| Manejo de sólidos (E) |
| Eliminación definitiva o reutilización (F) |
| Consulte el diagrama que muestra estos pasos en la página 21 |

Las reglas de la Parte 503 establecen dos niveles de calidad para los biosólidos con respecto a los patógenos y la atracción de vectores. Los biosólidos de clase A son seguros para el uso del público en general y pueden utilizarse en parques, jardines y campos de golf. Los biosólidos de clase B no cumplen con todos los criterios establecidos para la reducción de patógenos y pueden aplicarse en tierras agrícolas o eliminarse en vertederos. Reducir el atractivo de vectores implica estabilizar los sólidos para que haya menos posibilidades de que las enfermedades se propaguen por aves, insectos o roedores. Las reglas de la Parte 503 también abordan el contenido de metales pesados.

Las pruebas de lodos también deberán incluir los niveles de sustancias perfluoroalquiladas y polifluoroalquiladas (PFAS) —incluidos los contaminantes PFOA y PFOS— en los residuos que se apliquen para uso agrícola.

## Eliminación definitiva de efluentes

Una vez que las aguas residuales se han tratado suficientemente, pueden verterse al medio ambiente.

Existen varias opciones para la eliminación definitiva, entre ellas la descarga en aguas superficiales, la reutilización de efluentes y la aplicación en tierras agrícolas.

| LAS ETAPAS EN UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES |
|---|
| Tratamiento preliminar (A) |
| Tratamiento primario (B) |
| Tratamiento secundario (C) |
| Desinfección (D) |
| Manejo de sólidos (E) |
| Eliminación definitiva o reutilización (F) |
| Consulte el diagrama que muestra estos pasos en la página 21 |

## Descarga de aguas superficiales

La descarga superficial es el vertido directo de efluentes de aguas residuales a un cuerpo de agua superficial. Esta es la forma más común de eliminación de efluentes. Es una opción viable si se dispone de un cuerpo de agua receptor adecuado y si los organismos reguladores permiten dicho vertido. El nivel de tratamiento de efluentes requerido varía, pero generalmente deben cumplir con los estándares mínimos de tratamiento secundario y ser desinfectados. Es necesario un permiso NPDES o su equivalente estatal. Dependiendo de las condiciones específicas del lugar, pueden aplicarse requisitos de descarga más estrictos, como limitaciones en los nutrientes.



*Descarga de aguas superficiales*

## Reutilización de efluentes

Los sistemas de reutilización de efluentes utilizan aguas residuales tratadas, directa o indirectamente, como fuente de agua alternativa. El tratamiento mínimo requerido para la reutilización consiste en un tratamiento primario y un tratamiento secundario. Se requiere un tratamiento avanzado cuando se necesita agua regenerada de alta calidad para zonas sensibles, como cultivos agrícolas destinados al consumo humano. Entre los factores que influyen en la viabilidad de reutilización de efluentes se incluyen los costos de tratamiento y transporte; la disponibilidad y el costo del agua potable; el potencial de recuperación de las aguas residuales; y las normas de calidad del agua. La reutilización es cada vez más común.




*Punto de descarga de efluentes*

## Aplicación en tierra

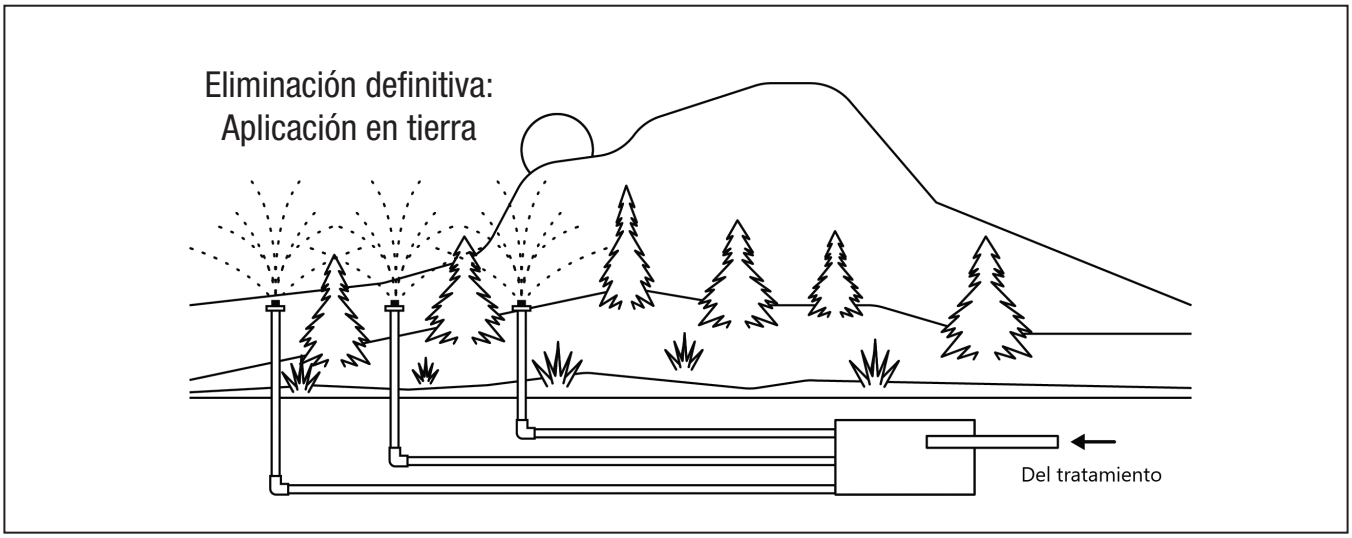
Es posible que los sistemas pequeños tengan autorización para aplicar efluentes de aguas residuales en superficies terrestres. Los métodos de eliminación superficial incluyen el riego por aspersión, el flujo superficial y la infiltración rápida. Estos métodos combinan un tratamiento adicional con la eliminación definitiva.

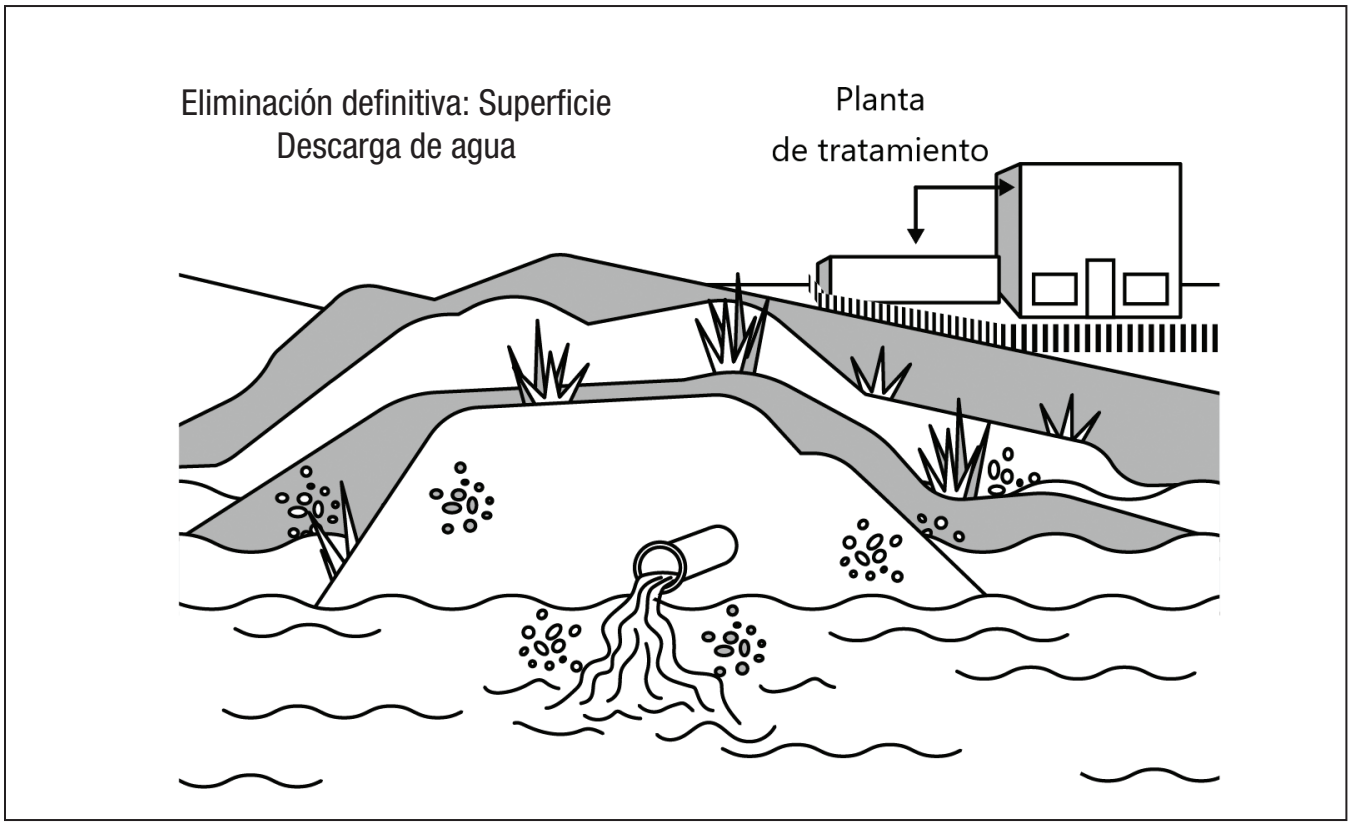
Los **sistemas de riego por aspersión** consisten en aplicar el efluente tratado sobre la superficie para recuperar y dispersar las aguas residuales, y es la aplicación terrestre más común. El área que se vaya a irrigar debe estar vegetada y ajardinada para minimizar la escorrentía y la erosión. Las aguas residuales deben tratarse hasta un nivel lo suficientemente alto como para proteger la salud pública y reducir los olores. Por este motivo, las aguas residuales deben desinfectarse. Después del tratamiento y la desinfección, una bomba equipada con temporizadores envía las aguas residuales a presión a través de las tuberías principales y las líneas del sistema de distribución por aspersión, en momentos y caudales preestablecidos.

En la **eliminación de flujo superficial**, el efluente de aguas residuales se aplica en el extremo superior de un área de tratamiento y fluye en una película delgada sobre el sitio antes de llegar a una zanja

de recolección de escorrentía. Posteriormente, la zanja puede transportar el efluente restante a una opción de reutilización o a un punto de descarga de aguas superficiales. Con este método, las plantas en la tierra pueden absorber el efluente y eliminar los nutrientes, o bien las aguas residuales pueden evaporarse. Si bien es más adecuada para sitios con suelos impermeables, la escorrentía superficial se ha utilizado con éxito en suelos moderadamente permeables.

Los **sistemas de infiltración rápida** aplican el efluente de aguas residuales a suelos altamente permeables (como arenas y suelos margosos) esparciéndolo en depósitos o rociándolo sobre la superficie del suelo. A medida que el efluente se desplaza a través del suelo, se somete a un tratamiento adicional. Una parte del efluente tratado puede llegar eventualmente a las aguas subterráneas. La vegetación es opcional, aunque una cubierta de césped ayuda a eliminar los sólidos orgánicos e inorgánicos en suspensión y el nitrógeno.



Esta página se dejó intencionadamente en blanco

# Lagunas para el tratamiento de aguas residuales

Hasta ahora, esta guía se ha enfocado en el tratamiento que se lleva a cabo en las plantas de tratamiento mecánico. Sin embargo, hasta una cuarta parte de todos los sistemas comunitarios de tratamiento de aguas residuales, principalmente en comunidades más pequeñas, utilizan lagunas y otros sistemas naturales —como marismas y humedales artificiales— para tratar sus aguas residuales. Las lagunas, o estanques de estabilización, funcionan en muchos aspectos de forma similar a las plantas de tratamiento mecánico. Están diseñadas para proporcionar tratamiento primario y secundario, aunque el tratamiento ocurre más lentamente en las lagunas que en las plantas mecánicas. Para compensar, el tiempo de retención en las lagunas es mucho más prolongado, generalmente de varias semanas o más.

Las principales ventajas de las lagunas son que son menos costosas y más sencillas de construir, operar y mantener. Los sólidos generalmente se acumulan lentamente y solo deben eliminarse cada diez o veinte años.

Sus principales desventajas son que no funcionan tan bien cuando los flujos son bajos o en condiciones invernales extremas que pueden afectar a los índices de eliminación de algunos contaminantes, especialmente el amoníaco, y también pueden ocupar más espacio que las plantas mecánicas. Sin embargo, la desventaja de ocupar más espacio no siempre es un problema mayor en las áreas rurales, donde suele haber terrenos más grandes disponibles.

La mayoría de los sistemas de lagunas constan de varios estanques o “celdas” individuales que están conectados entre sí. Las celdas pueden disponerse en serie, en paralelo o mediante una combinación de ambas. Para las máximas tasas de eliminación de residuos, las lagunas en serie son el método preferido. A medida que las aguas residuales pasan por una serie de estanques, se espera que su calidad mejore con cada etapa. Las celdas finales, que generalmente están poco cargadas, se denominan “celdas de pulido”. En algunos casos, puede tratarse de humedales o marismas artificiales.







***Izquierda:*** *Berma y celda de tratamiento secundario de laguna.* ***Arriba a la derecha:*** *Celda de tratamiento secundario de laguna.* ***Abajo a la derecha:*** *Laguna de retención.*

## Variaciones en el tratamiento de lagunas

Las lagunas se clasifican como aeróbicas, anaeróbicas o facultativas, según su contenido de oxígeno:

Las **lagunas aeróbicas** tienen un poco de oxígeno disuelto distribuido por la mayor parte del estanque, excepto en el fondo.

Las **lagunas anaeróbicas** no tienen contenido de oxígeno disuelto.

Los **estanques anaeróbicos** generalmente son la primera celda en una serie de estanques. Los sólidos se asientan en el fondo, proporcionando un tratamiento primario. Las bacterias anaeróbicas convierten la materia orgánica en compuestos simples, como el metano y el sulfuro de hidrógeno. Posteriormente, estos compuestos se oxidan a dióxido de carbono, sulfato y agua en la siguiente célula aeróbica.

Las **lagunas facultativas** tienen una capa aeróbica oxigenada y una capa anaeróbica sin oxígeno. Las lagunas facultativas tienen zonas aeróbicas oxigenadas y zonas anaeróbicas sin oxígeno dentro de la misma celda. Las zonas anaeróbicas se encuentran principalmente en el fondo del estanque, en el extremo de entrada, donde los sólidos entran y se asientan para ser digeridos por bacterias anaeróbicas. La zona aeróbica es la capa superior. Las lagunas facultativas pueden airearse mecánicamente.

Las lagunas aeróbicas también se clasifican como aireadas y no aireadas:

Las **lagunas aireadas** utilizan aireadores mecánicos para mantener cierto nivel de oxígeno en el agua. Los aireadores generalmente son el único componente mecánico importante de un sistema de laguna. Las lagunas aireadas tienen una profundidad de entre 10 y 15 pies.

Sin embargo, una laguna aeróbica no requiere necesariamente aireación mecánica. El oxígeno que necesitan las bacterias beneficiosas que descomponen la materia orgánica en las aguas residuales frecuentemente se puede suministrar por la transferencia natural de oxígeno en la superficie del estanque y por el oxígeno generado por las algas en el estanque durante la fotosíntesis.

Las **lagunas aeróbicas no aireadas** generalmente tienen una profundidad de 3 a 8 pies. La transferencia de oxígeno se ve afectada por la cantidad de viento, la temperatura del agua (a temperaturas más bajas se disuelve más oxígeno) y la profundidad de la laguna.

## Consideraciones de construcción

Las lagunas se construyen mediante un proceso de excavación, y el material excavado se utiliza para construir un perímetro de dique de tierra. Por lo general, no es necesario traer material de tierra de fuera del sitio. Las lagunas generalmente se recubren con arcillas bentoníticas o geotextiles para evitar filtraciones.

Se debe tener cuidado para asegurarse de que no se incorporen residuos biológicos o vegetales al revestimiento inferior, ya que esto puede causar la formación de gases debido a la degradación de los materiales. La formación de gas puede elevar los revestimientos geotextiles por encima de la superficie de la laguna y causar su degradación y perforación.

Los sistemas de lagunas pueden proporcionar un tratamiento secundario, reduciendo eficazmente la DBO y la carga de sólidos en suspensión. Sin embargo, debido a que los microorganismos que proporcionan el tratamiento biológico son menos activos en climas fríos, el tratamiento es menos efectivo en invierno, especialmente en las zonas del norte. Las lagunas ubicadas en zonas más frías están diseñadas para albergar una cierta cantidad de almacenamiento, de modo que las aguas residuales puedan retenerse y descargarse solo cuando cumplan las condiciones del permiso.

## Mantenimiento de lagunas

El mantenimiento rutinario de las lagunas de aguas residuales es fundamental para mantener procesos de tratamiento eficientes y mitigar posibles problemas medioambientales. El corte y manejo habituales de la vegetación ayudan a controlar el crecimiento de la vegetación, prevenir la sombra y mantener los caminos de acceso. La eliminación y el dragado de lodos son necesarios para mantener la eficiencia del tratamiento y evitar el desbordamiento de la laguna. La gestión del nivel del agua implica supervisar y ajustar los niveles de agua para mantener las condiciones de tratamiento óptimas y evitar desbordamientos.

Los sistemas de aireación y mezcla requieren mantenimiento para garantizar un tratamiento eficaz y evitar fallas de los equipos. El muestreo

y las pruebas periódicas ayudan a controlar la eficacia del tratamiento, identificar posibles problemas y garantizar el cumplimiento de los requisitos normativos. Al hacer tareas de mantenimiento, se deben inspeccionar las orillas de la laguna y reparar cualquier daño causado por la erosión con el fin de evitar una mayor erosión; esto garantizará la integridad estructural de la laguna. Las medidas de control de plagas y fauna silvestre previenen problemas que pueden afectar la eficacia del tratamiento y causar daños a los diques de la laguna por la excavación de madrigueras.

## Conclusiones clave: Lagunas

**Ventajas de las lagunas**: Generalmente menor costo de capital, operación y mantenimiento más sencillos y menos costosos, y menor necesidad de eliminar sólidos.

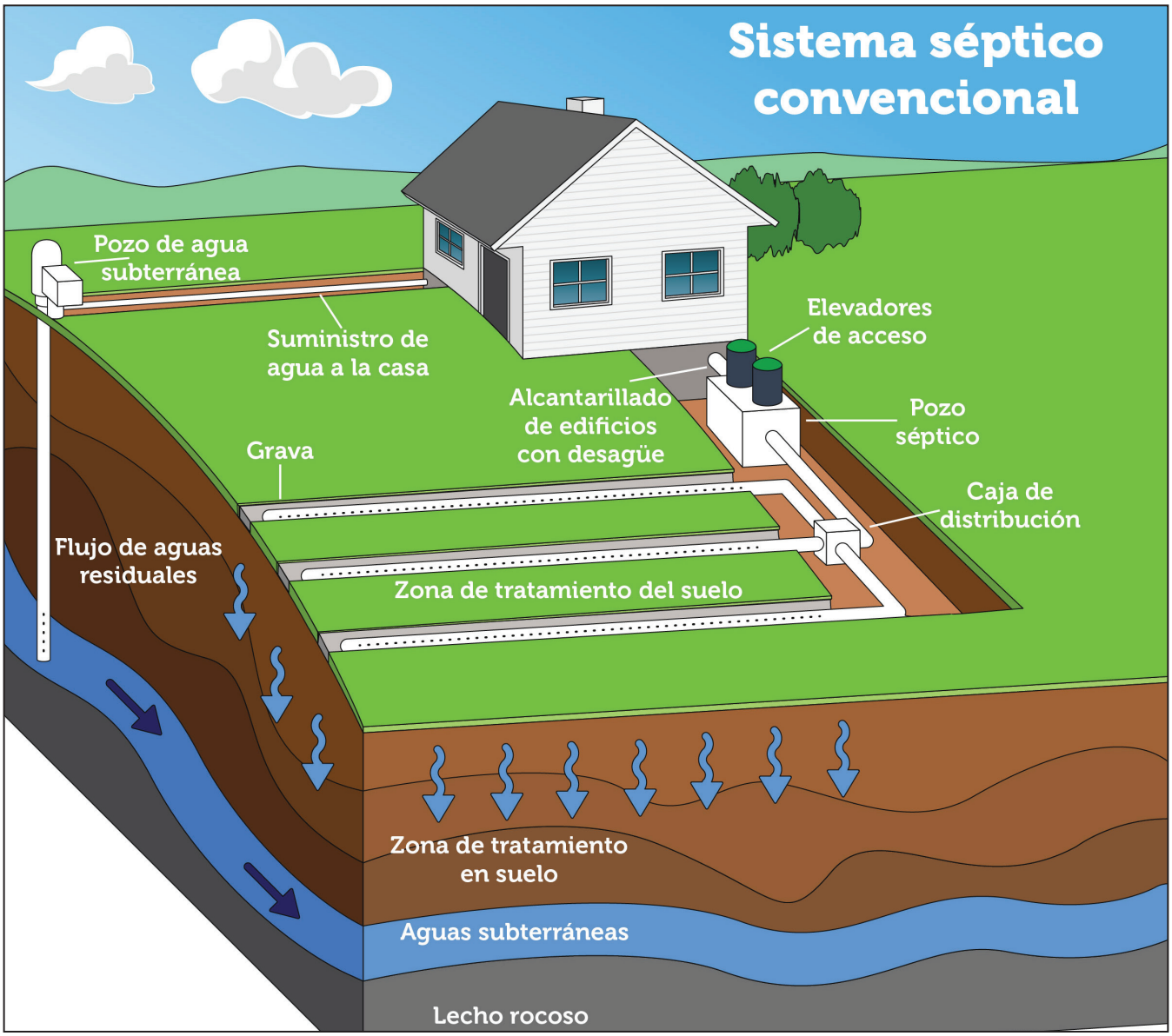
**Desventajas de las lagunas**: No funcionan tan bien cuando el flujo es bajo o en condiciones climáticas extremas; pueden tener una huella relativamente mayor; existen preocupaciones públicas sobre la aplicación de sólidos en tierras; existe la posibilidad de que se necesiten mejoras mecánicas para mantenerse al día con las reglas y el marco normativo cambiantes para la protección contra la degradación ambiental.

- Las lagunas aeróbicas tienen oxígeno disuelto en todo el estanque, excepto en el fondo.
- Las lagunas anaeróbicas no tienen oxígeno disuelto.
- Las lagunas facultativas tienen una capa aeróbica oxigenada y una capa anaeróbica sin oxígeno.
- Las lagunas pueden ser aireadas, para mantener los niveles de oxígeno en el estanque, o no aireadas.

Esta página se dejó intencionadamente en blanco

# Qué son los sistemas descentralizados de tratamiento de aguas residuales

Los sistemas descentralizados de tratamiento de aguas residuales dan servicio a más del 20 por ciento de las casas en Estados Unidos, y a un porcentaje mucho mayor en las comunidades rurales. Estos sistemas recolectan, tratan y dispersan o reutilizan las aguas residuales en el punto de generación o cerca de él, y dan servicio a casas individuales, grupos de casas, pequeñas urbanizaciones o instituciones. Son una alternativa práctica para extender el servicio de alcantarillado centralizado a largas distancias y se suelen utilizar para reemplazar sistemas obsoletos o con funcionamiento deficiente, o para apoyar un crecimiento moderado.



Al igual que los sistemas centralizados, los sistemas descentralizados deben ubicarse, diseñarse, instalarse, operarse y mantenerse adecuadamente para proporcionar una protección sostenible a largo plazo de la salud pública y el medio ambiente. Independientemente de su escala, los sistemas descentralizados se basan en los mismos principios de tratamiento fundamentales que las plantas centralizadas:

- **separación física** de sólidos,
- **tratamiento biológico** por microorganismos y,
- **filtración y pulido** a través del suelo o de filtros diseñados.

### Sistema de tratamiento de aguas residuales in situ (OWTS):

Actualmente, se utilizan diversas variantes de sistemas OWTS, que van desde sistemas antiguos cuyo criterio de diseño era simplemente verter los efluentes al medio ambiente, hasta sistemas de tratamiento modernos y avanzados que producen agua con una eliminación casi completa de patógenos, cargas de nutrientes muy reducidas y pueden ser aptos para su reutilización segura en interiores para uso no potable o para el riego de jardines. El diseño, la instalación y la administración suelen estar regulados por las reglas locales y estatales, normalmente mediante un proceso de obtención de permisos. El diseño se basa en la cantidad y calidad de la generación de aguas residuales, las características específicas del sitio y del suelo, los usos finales previstos y los factores limitantes que plantean los recursos hídricos subterráneos y superficiales potencialmente afectados.

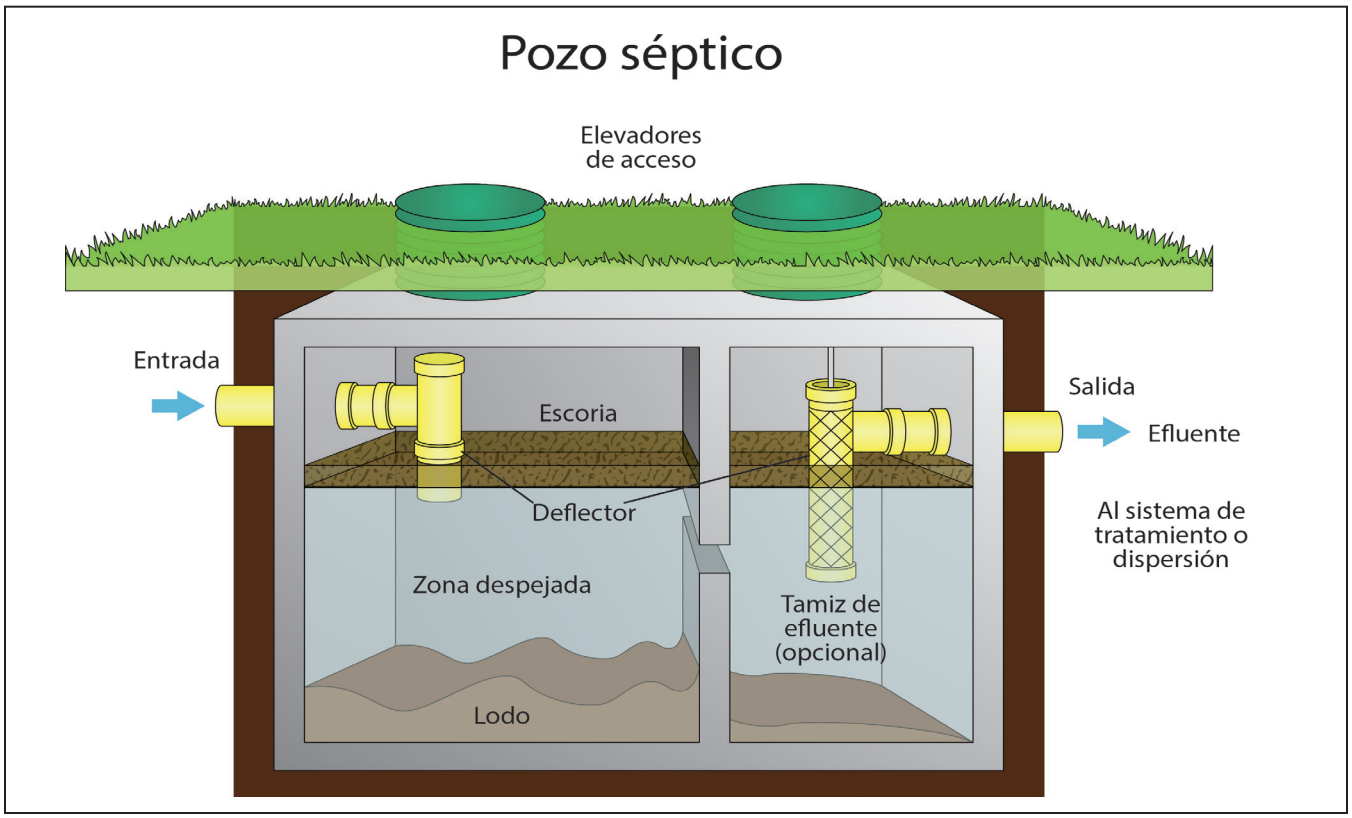
Los sistemas sépticos son el tipo más común de sistema OWTS, que consiste en el pretratamiento de las aguas residuales en un tanque de pozo séptico y el tratamiento final y la eliminación del efluente en un área de tratamiento del suelo (también llamada “área de absorción del suelo”, “campo de drenado” o “campo de lixiviación”).

### El tanque del pozo séptico

El **tanque del pozo séptico** generalmente es el primer componente del sistema séptico. Se trata de un tanque subterráneo y hermético, normalmente de 1,000 galones o más, dependiendo del tamaño de la vivienda y del flujo previsto. Funciona como una cámara de sedimentación y digestión.

Dentro del tanque:

- Los sólidos pesados se asientan en el fondo, formando una **capa de lodo**.



- Las grasas y los materiales más ligeros flotan hacia la superficie, formando una **capa de suciedad**.
- En la zona media permanece un líquido parcialmente clarificado (efluente).

Los deflectores o las conexiones en T sanitarias en la entrada y la salida ralentizan el flujo entrante e impiden que los sólidos salgan del tanque. Muchos sistemas modernos incluyen una **criba o filtro de efluentes** en la salida para capturar los sólidos en suspensión restantes.

Las bacterias anaeróbicas (que requieren oxígeno limitado) digieren parcialmente la materia orgánica, reduciendo el volumen de lodos. Sin embargo, la digestión es incompleta; los sólidos se acumulan y se deben bombear periódicamente. Si no se bombean, los sólidos pueden arrastrarse al campo de drenado, lo que causa obstrucciones y fallas prematuras.

La construcción hermética es esencial para evitar que el agua subterránea entre en el tanque o que las aguas residuales sin tratar se filtren al exterior. Los elevadores de acceso y las tapas de seguridad son importantes para la inspección, el bombeo y la seguridad pública. Los tanques deben inspeccionarse y vaciarse periódicamente; de lo contrario, es común que ocurran fallas en el campo de drenado y una costosa sustitución.

## Zona de tratamiento del suelo

El tratamiento final se produce en el suelo. El efluente se distribuye a través de tuberías perforadas en zanjas rellenas de grava, cámaras o medios similares. A medida que las aguas residuales se desplazan a través de suelos no saturados, las bacterias aeróbicas eliminan los patógenos, la materia orgánica y otros contaminantes antes de que el agua llegue a las aguas subterráneas.

El campo de drenado elimina la mayoría de los contaminantes. Las aguas residuales fluyen hacia tuberías de distribución perforadas colocadas en zanjas de grava, cámaras u otros medios porosos. Desde allí, se infiltra en el suelo no saturado.

El tratamiento se realiza mediante lo siguiente:

- **Filtración,** a medida que los sólidos quedan atrapados en los poros del suelo.
- **Actividad microbiana aeróbica**, que elimina patógenos y materia orgánica.
- **Adsorción y procesos químicos** que reducen los nutrientes y otros contaminantes.

En la superficie de infiltración se forma una capa biológicamente activa (a veces llamada biopelícula). Cuando se aplica correctamente, esta capa mejora



el tratamiento. Cuando se sobrecarga, puede restringir el flujo y causar problemas de rendimiento o atascos.

Las características del suelo son el factor clave en el diseño. Debe mantenerse una profundidad adecuada hasta el nivel freático máximo estacional, el lecho rocoso o las capas restrictivas. Se requieren distancias de seguridad con respecto a pozos, aguas superficiales, límites de propiedades y edificios para proteger los recursos hídricos y la salud pública. El tratamiento exitoso del suelo requiere lo siguiente:

- condiciones insaturadas (presencia de oxígeno)
- separación vertical adecuada con respecto al agua subterránea o al lecho rocoso
- suelos con la permeabilidad adecuada (ni demasiado rápida ni demasiado lenta)

Cuando el flujo por gravedad no es posible, se puede utilizar un tanque de bomba para elevar el efluente hasta el campo de drenado.

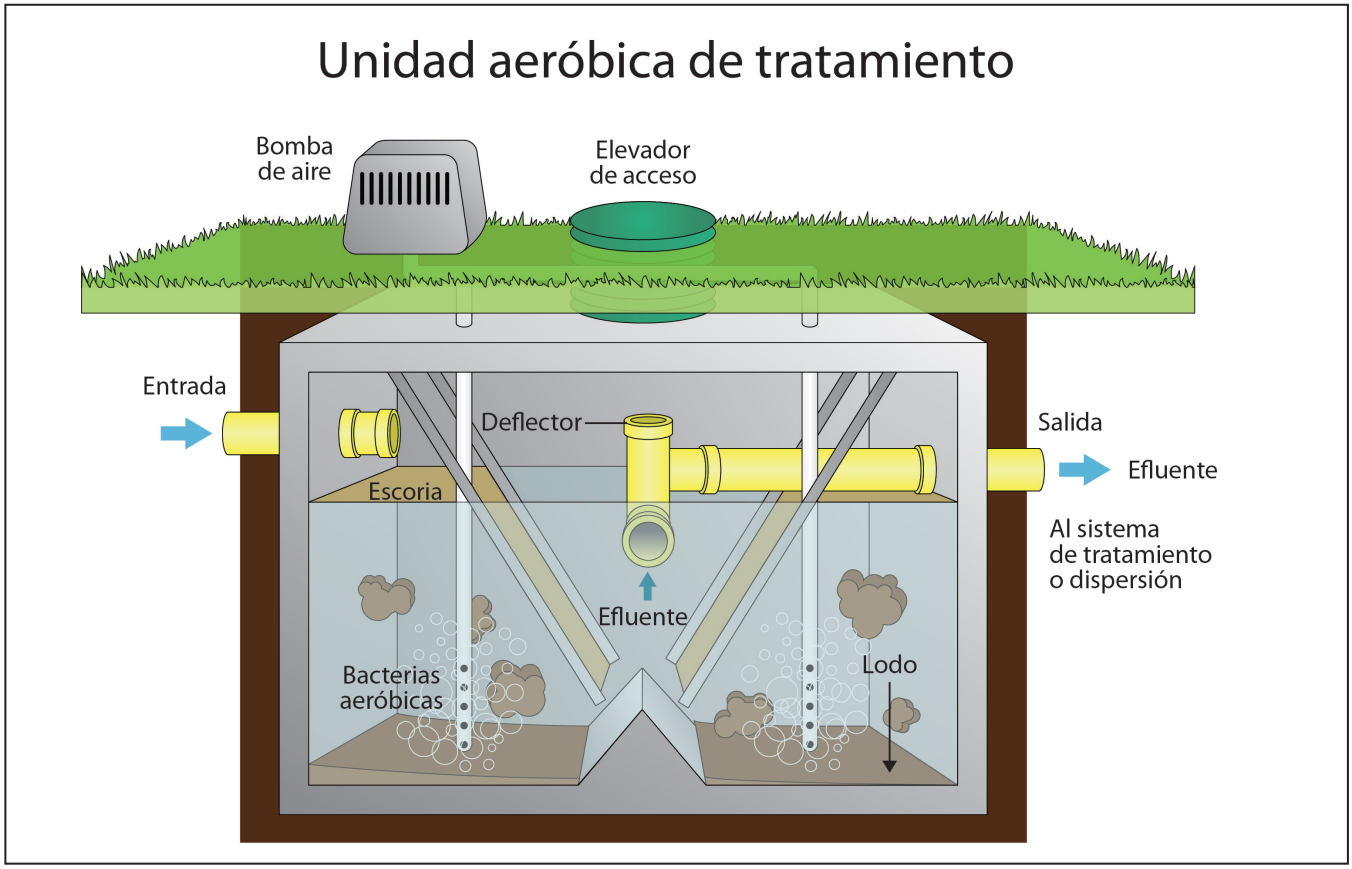
El tamaño del sistema se basa en el flujo de aguas residuales previsto y en una evaluación del suelo del sitio realizada por profesionales capacitados.



*Unidad de tratamiento aeróbico (UTA)*

## Pretratamiento avanzado y eliminación mejorada

Muchas propiedades no tienen condiciones favorables para la instalación de un sistema séptico convencional con tanque de pozo séptico y campo de drenado simple por gravedad. Un sitio puede tener malas condiciones de suelo, un nivel freático

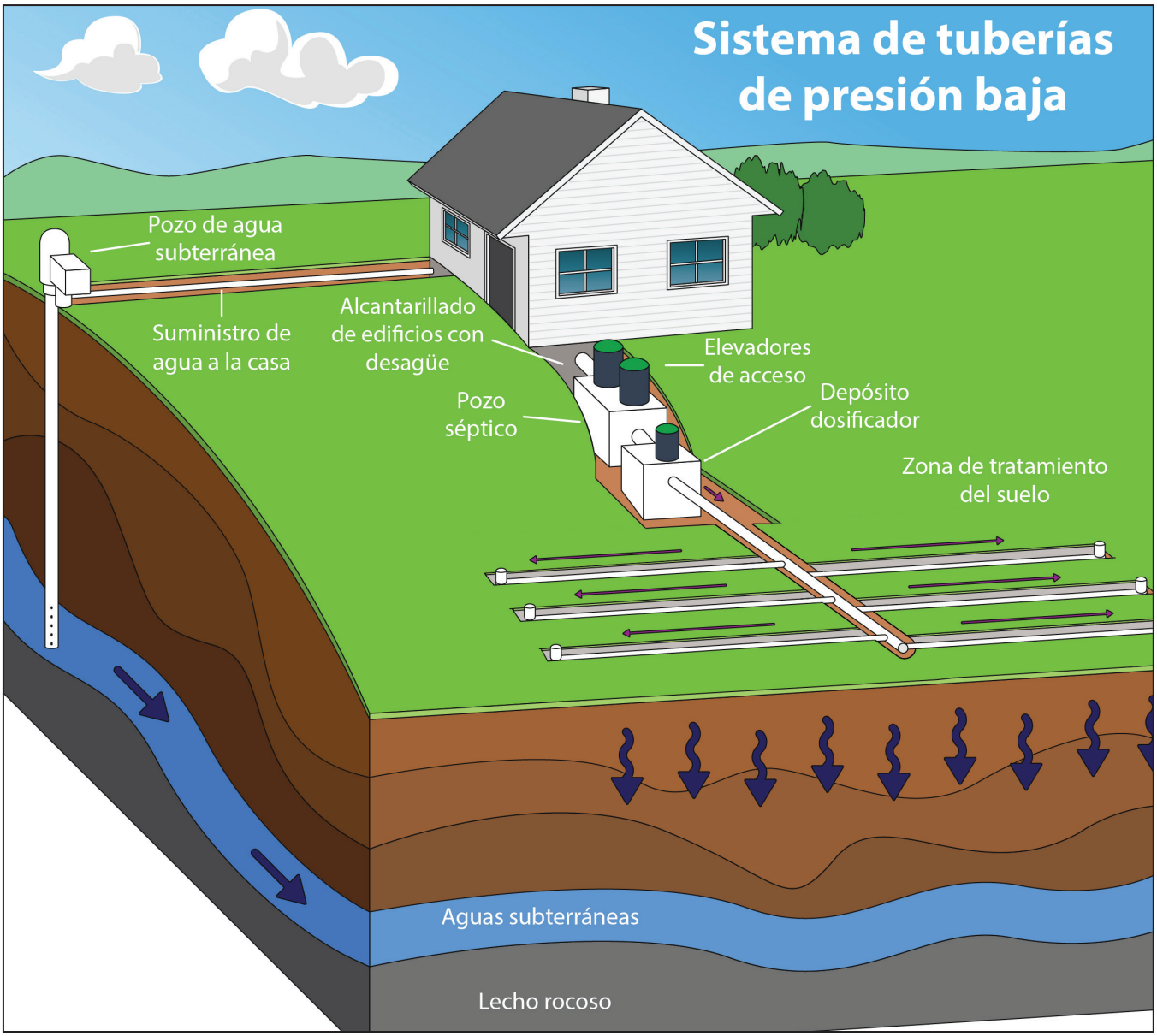


alto o ser demasiado pequeño para albergar un campo de drenado convencional. En estos casos, existe una amplia variedad de opciones, llamadas sistemas alternativos. Estos otros sistemas también proporcionan tratamiento in situ. Por lo general, implican proporcionar un tratamiento adicional para que el agua que llega al campo de drenado sea de mayor calidad o utilizar alguna forma alternativa de eliminación definitiva. A veces, ambas son necesarias.

En zonas con suelos limitados y otras restricciones del sitio, puede ser necesario un efluente de mayor calidad antes de su descarga al suelo. Las unidades de pretratamiento avanzado (como **unidades de tratamiento aeróbico [UTA], filtros de arena, filtros de turba** u otros biofiltros) pueden reducir significativamente la materia orgánica, los nutrientes y los patógenos. Estos sistemas funcionan de forma similar a las pequeñas plantas de tratamiento y requieren un suministro eléctrico fiable, inspecciones rutinarias y mantenimiento profesional:

- El aire se introduce en la cámara de tratamiento mediante un soplador o un aireador mecánico.
- Las bacterias aeróbicas descomponen la materia orgánica de forma más rápida y completa que en los tanques de pozos sépticos.
- El efluente clarificado pasa a las etapas de sedimentación y, en ocasiones, de desinfección.

En el Apéndice D se puede encontrar más información sobre las tecnologías de pretratamiento descentralizadas.



Los métodos de eliminación mejorada optimizan la aplicación de efluentes en suelos difíciles o zonas con altos niveles freáticos:

- Los sistemas de **distribución de baja presión (DBP)** dosifican uniformemente múltiples zanjas. El efluente se bombea a baja presión a través de tuberías de diámetro pequeño con orificios muy próximos entre sí. Esto garantiza una distribución uniforme a lo largo de la zanja, evitando sobrecargas localizadas.
- Los **sistemas de eliminación por goteo** aplican las aguas residuales tratadas de forma lenta y uniforme a través de tuberías poco profundas cerca de las raíces de las plantas. La dosificación programada permite que el suelo descanse entre aplicaciones, mejorando la transferencia de oxígeno y la eficacia del tratamiento.
- Los **sistemas de montículos** elevan el campo de drenado utilizando arena importada para proporcionar una separación adicional del nivel freático alto o del lecho rocoso poco profundo. Cuando la separación vertical con respecto al agua subterránea o al lecho rocoso es insuficiente, se coloca arena importada por encima del nivel natural del terreno para crear una zona de tratamiento elevada. Las aguas residuales se bombean al montículo y se tratan a medida que descienden a través de la arena y el suelo subyacente.



A medida que el rendimiento del tratamiento aumenta, también aumentan los requisitos de supervisión operativa y mantenimiento.

Los sistemas de descarga superficial o de riego por aspersión requieren un pretratamiento avanzado y, por lo general, desinfección. El vertido a aguas superficiales requiere un permiso del Sistema Nacional de Eliminación de Descargas de Contaminantes (NPDES) y el cumplimiento continuo de la normativa.

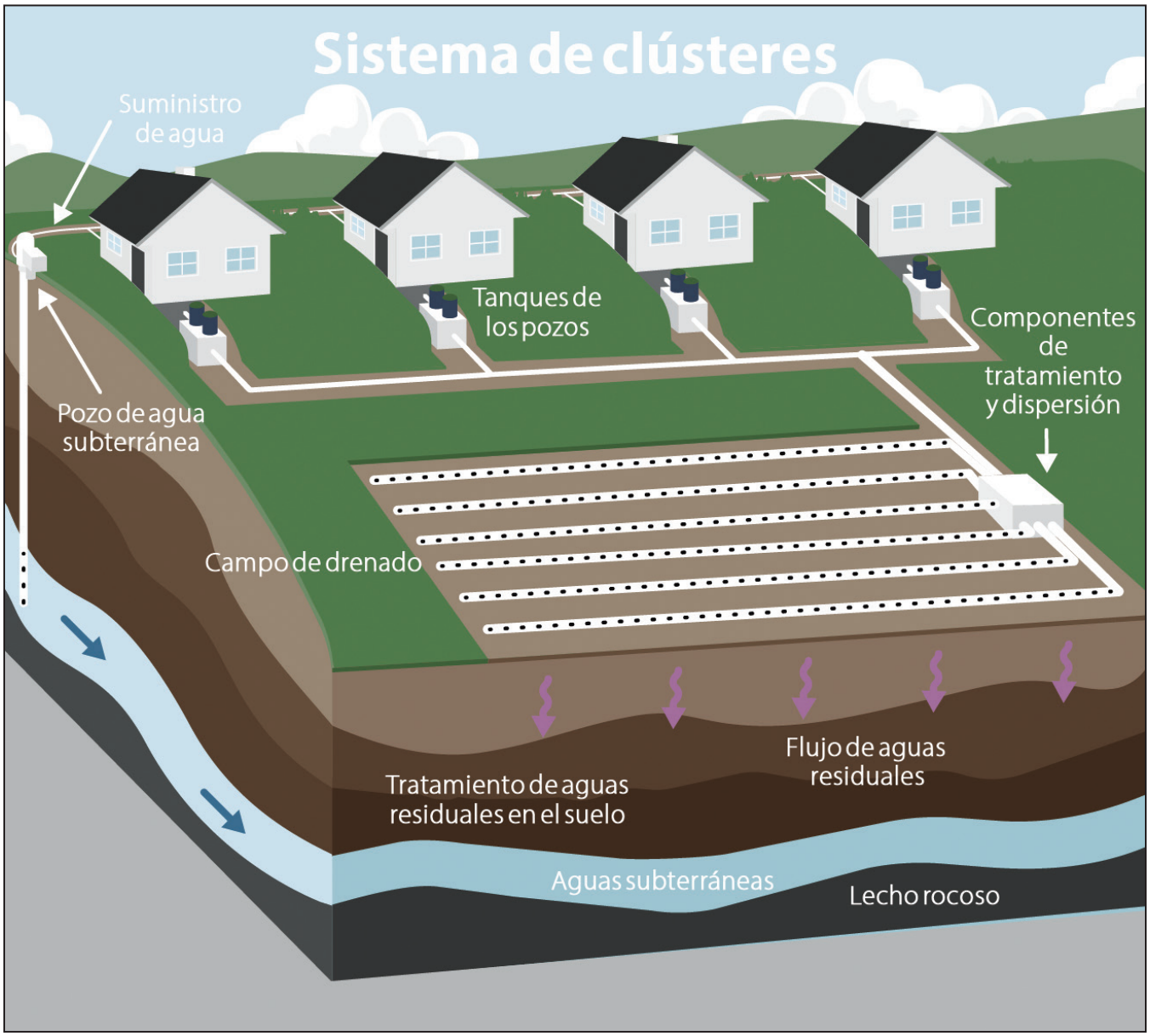
La **reutilización del agua** (p. ej., para el riego de jardines o la descarga de inodoros) puede considerarse en algunas aplicaciones, pero requiere un diseño resiliente y una gestión activa para garantizar la protección de la salud pública.

## Sistemas en clúster descentralizados

Los **sistemas en clúster** combinan el pretratamiento individual in situ (frecuentemente en tanques de pozos sépticos en cada casa) con instalaciones comunitarias compartidas de tratamiento o eliminación. En lugar de que cada propiedad tenga su propio campo de drenado, las aguas residuales se transportan a un área centralizada de tratamiento de suelos u otra unidad de tratamiento.

Los sistemas en clúster pueden ser rentables en las siguientes situaciones:

- Los lotes individuales no pueden soportar los campos de drenado de reemplazo.



- Las zonas ribereñas o ambientalmente sensibles requieren un mejor tratamiento.
- Ampliar el servicio de alcantarillado centralizado resulta económicamente prohibitivo.

Con frecuencia utilizan tecnologías de recolección alternativas, como alcantarillado de presión STEP (bomba de efluentes de tanques de pozos sépticos). El pretratamiento en cada propiedad reduce la carga de sólidos en el área de eliminación compartida.

Dado que los sistemas en clúster funcionan como pequeñas empresas de servicios públicos, es necesario establecer una entidad administradora legalmente autorizada y con financiación adecuada antes de que comience su funcionamiento. La gobernanza, la autoridad para hacer inspecciones y la financiación estable son esenciales para el buen desempeño a largo plazo.

## Operaciones, administración y planificación de activos en sistemas descentralizados/in situ

A veces se considera que los sistemas descentralizados requieren poco mantenimiento, pero un rendimiento sostenible requiere una supervisión estructurada. Las responsabilidades pueden incluir las siguientes:

- mantener un inventario del sistema;
- establecer calendarios de inspección y bombeo;
- monitorear contratos de mantenimiento de sistemas avanzados;
- educar a los propietarios de casas;
- planificar y financiar reparaciones y reemplazos.

A medida que aumenta la complejidad del sistema —p. ej., con bombas, eliminación por presión o pretratamiento avanzado—, la operación y el mantenimiento profesionales se vuelven cada vez más importantes (visitas rutinarias de inspección o mantenimiento por parte de un proveedor de servicios profesional).

El éxito implica un enfoque de administración del ciclo de vida, en el que el propietario, el evaluador de suelos, el diseñador del sistema, el instalador y el organismo normativo desempeñan funciones complementarias importantes, actuando de forma coordinada.

Una vez que el sistema entre en funcionamiento, para que su rendimiento continuo satisfaga las necesidades del propietario y proteja la salud pública y el medio ambiente, puede ser necesario realizar acciones y colaboraciones entre los usuarios del sistema, la entidad administradora profesional y el organismo normativo.



*Panel de control de OWTS*



*Evaluación de OWTS RSOL*

Explicar a los propietarios el funcionamiento de su sistema y cuáles son las necesidades de administración continua es, quizás, la información más importante que debe transmitirse. Un excelente recurso disponible es la **Guía del usuario del sistema de tratamiento de aguas residuales in situ (RCAP, 2023)** (consulte el enlace en Recursos) y los módulos de capacitación que lo acompañan.

Otro recurso son las "*Directrices nacionales voluntarias para la administración de sistemas de tratamiento de aguas residuales descentralizados in situ y en clúster*" de la EPA, que describe cinco "*Programas modelo*" representativos, donde el nivel y las exigencias administrativas en cada modelo sucesivo aumentan a medida que aumenta la complejidad del sistema y la sensibilidad ambiental del área (EPA, 2003, 2005).

Las comunidades también deben planificar reparaciones y reemplazos a largo plazo. Incluso los sistemas bien mantenidos acaban envejeciendo y pueden verse afectados por inundaciones, el aumento del nivel del mar, incendios forestales u otros desastres naturales. Las áreas de reparación designadas, los mecanismos de asistencia financiera y la planificación de reservas ayudan a prevenir averías de emergencia y a proteger la continuidad de la ocupación de las casas atendidas.

## Conclusiones clave: Tratamiento de aguas residuales descentralizado

- **Propósito y función**: Los sistemas descentralizados abastecen a casas y pequeñas comunidades en punto de origen, y dependen de tratamientos físicos, biológicos y del suelo para proteger la salud pública.
- **Regulaciones y diseño**: Se rige por los permisos estatales/locales; el diseño se basa en el flujo, las condiciones del suelo/sitio, la sensibilidad ambiental y el uso previsto, con la supervisión requerida.
- **Sistemas sépticos**: Incluyen un tanque de pozo séptico hermético para el tratamiento primario y un área de tratamiento del suelo para el tratamiento final y la eliminación; los tanques requieren bombeo periódico.
- **Áreas de tratamiento de suelos**: El efluente se infiltra en el suelo no saturado para su filtración y tratamiento biológico; es fundamental una separación, permeabilidad y distancias de seguridad adecuadas.
- **Pretratamiento avanzado**: Tecnologías como las unidades aeróbicas y los biofiltros mejoran la calidad del efluente, pero requieren energía eléctrica, inspección rutinaria y mantenimiento profesional.
- **Eliminación y descarga mejoradas**: Los sistemas de baja presión, por goteo y por montículos, mejoran la distribución; la descarga superficial o la reutilización requieren un tratamiento avanzado y permisos.
- **Sistemas en clúster**: Combinan el pretratamiento in situ con el tratamiento/eliminación compartidos; requieren una entidad administradora formal y financiada antes de la puesta en marcha.
- **Operaciones y administración de activos**: Se requieren inventarios del sistema, inspecciones, calendarios de bombeo, contratos de mantenimiento y planificación para reparaciones y reemplazos.
- **Gobernanza y colaboración**: El desempeño sostenible depende de la coordinación entre propietarios, profesionales, reguladores y entidades administrativas.
- **Resiliencia y planificación a largo plazo**: La financiación proactiva, las áreas de reparación y los programas administrativos reducen el riesgo derivado del envejecimiento de los sistemas y de los desastres naturales.

Esta página se dejó intencionadamente en blanco

# Solución de problemas del sistema: Afluencia e infiltración

La EPA define **afluencia** como agua distinta de las aguas residuales sanitarias que ingresa a un sistema de alcantarillado desde fuentes como bajantes de techo, desagües de sótanos/cimientos, desagües de patios, desagües de área, desagües de manantiales y áreas pantanosas, tapas de bocas de acceso, conexiones cruzadas entre alcantarillado pluvial y alcantarillado sanitario y sumideros.

**Infiltración:** Agua distinta de las aguas residuales sanitarias que ingresa a un sistema de alcantarillado desde el suelo a través de tuberías, juntas de tuberías, conexiones o bocas de acceso que presentan defectos.

La afluencia e infiltración son problemas comunes que afectan a la mayoría de los sistemas de tratamiento de aguas residuales. Si no se tratan, las afluencias e infiltraciones pueden causar problemas de capacidad tanto en el sistema de recolección como en la planta de tratamiento. Algunos problemas comunes asociados con la afluencia e infiltración incluyen desbordamientos, atascos y aumento de los costos de energía y productos químicos, así como daños a la infraestructura.

Con la tecnología actual, existen varias formas de inspeccionar/monitorear las afluencias e infiltraciones, y algunos métodos son tan sencillos como una inspección visual.

**Inspección de bocas de acceso**: Siempre que sea posible, es recomendable hacer inspecciones de las bocas de acceso después de un episodio de lluvia. En una boca de acceso con cuello de ladrillo, esto le permitirá ver si el agua de lluvia o el agua subterránea está entrando en la boca de acceso entre los ladrillos, donde la lechada antigua se ha erosionado con el tiempo. Esto también le permitirá buscar fugas alrededor de las juntas de las bocas de acceso apiladas de hormigón prefabricado, así como alrededor del anillo y la tapa. Las bocas de acceso modernas tienen un conector de goma en el punto donde la tubería entra en la boca de acceso, pero no siempre fue así con las bocas de acceso de concreto in situ o las bocas de acceso con cuello de ladrillo. En las bocas de acceso de concreto in situ o con cuello de ladrillo, la lechada que rodea la tubería que entra en la boca de acceso se desgasta con el tiempo, lo que permite que se produzcan infiltraciones. Este es otro buen lugar para comprobar si hay fallas en las bocas de acceso y si existen afluentes e infiltraciones. Al realizar la inspección, compruebe si la boca de acceso está por encima o por debajo del nivel del suelo. Obtenga las coordenadas SIG de la boca de acceso, si corresponde, para dibujar y actualizar los mapas.

**Prueba de humo**: Las pruebas de humo se hacen introduciendo humo no tóxico en el sistema de alcantarillado a través de diferentes puntos de acceso, que suelen ser bocas de acceso. El humo entra por todas las tuberías del sistema de alcantarillado y sale por donde hay una tubería rota o agrietada, bocas de acceso sin sellar, conexiones cruzadas de aguas pluviales, así como registros de limpieza rotos o abiertos, por nombrar algunos. Comuníquese con los propietarios de las casas en las áreas donde se harán las pruebas de humo y pídales que viertan agua en todos los desagües de la casa para llenar los sifones de cada accesorio. Aunque el humo no es tóxico, esto reducirá la cantidad de humo que entra en las casas. Además, coordine con el departamento de bomberos y el departamento de policía locales antes de hacer una prueba de humo para que estén preparados para cualquier llamada que podrían recibir. Entre los beneficios adicionales de las pruebas de humo se incluyen la detección de bocas de acceso que se han cubierto, conexiones ilegales y fugas de agua en el sistema de distribución que desembocan en el sistema de recolección de alcantarillado.

**CCTV**: Las cámaras de circuito cerrado de televisión (CCTV) son una excelente manera de inspeccionar el interior de las tuberías de alcantarillado, donde se detectaron deficiencias durante las pruebas de humo. Las inspecciones con CCTV también pueden ayudar a identificar zonas con acumulación de grasa o intrusión de raíces en el sistema, así como tomas de agua ilegales. Si bien las inspecciones con CCTV suelen ser más costosas que otros métodos, son un buen método sin zanjas para observar visualmente lo que ocurre dentro de la línea de recolección. Cabe destacar que algunas aseguradoras municipales ofrecen pequeñas subvenciones a los sistemas que cubren para que inspeccionen con cámaras una cantidad predeterminada de pies de tubería de alcantarillado al año.

**Dispositivos de monitoreo de flujo**: Los dispositivos de monitoreo de flujo pueden ser una herramienta valiosa para solucionar problemas de afluencia e infiltración en el sistema de recolección. Estos dispositivos proporcionan mediciones instantáneas del caudal de aguas residuales, ofreciendo datos valiosos y actualizados al minuto para identificar y localizar las fuentes de afluencia e infiltración. En los sistemas de recolección de aguas residuales se utilizan varios tipos de dispositivos de monitoreo del flujo. Esto incluye caudalímetros ultrasónicos, magnéticos, acústicos y de canal abierto.

Los caudalímetros ultrasónicos utilizan ondas sonoras de alta frecuencia para medir los caudales, mientras que los magnéticos utilizan un campo magnético para medir la velocidad de las aguas residuales. Los caudalímetros acústicos utilizan ondas sonoras para medir los caudales. Existen diversas configuraciones en las que se pueden instalar este tipo de medidores. La instalación en tuberías, la instalación mediante sonda de inserción y la instalación mediante abrazadera son algunas de las configuraciones más comunes. Los caudalímetros de canal abierto están diseñados para medir caudales en canales, arroyos y otras aplicaciones de flujo abierto, incluidas las bocas de acceso. Utilizan técnicas que incluyen sensores ultrasónicos, de radar y acústicos para medir los caudales. Esto proporciona mediciones precisas en diversas aplicaciones de sistemas de recolección de datos.

Los dispositivos de monitoreo de flujo suelen instalarse en áreas estratégicas de todo el sistema de recolección. Estas áreas incluyen lugares donde se espera afluencia e infiltración, áreas donde ocurren desbordamientos de alcantarillado sanitario con regularidad y en áreas con caudales elevados. Estos dispositivos pueden determinar si el agua de lluvia está entrando en el sistema de recolección a través de grietas, infiltraciones u otros defectos.

Se puede hacer un análisis de correlación entre precipitación y flujo analizando la relación entre la intensidad de la lluvia y los cambios correspondientes en los caudales. Los datos pueden utilizarse para comprender el impacto de las precipitaciones en el sistema de recolección de aguas residuales, así como la magnitud y el momento de las afluentes de agua.

## Una ordenanza estricta sobre el uso del alcantarillado protege su sistema

Una ordenanza bien elaborada sobre el uso del alcantarillado es una de las herramientas más importantes que tiene una comunidad para proteger su infraestructura de aguas residuales, el rendimiento del tratamiento y la salud pública. Una ordenanza eficaz define claramente los vertidos prohibidos, restringe los residuos comerciales e industriales dañinos y autoriza las inspecciones y la aplicación de las normas. Debe prohibirse explícitamente las conexiones ilegales —como las bombas de sumidero, los desagües de techo y los drenajes de cimentación (franceses)— que causan un exceso de afluente e infiltración de agua, sobrecargan las estaciones de bombeo y las instalaciones de tratamiento, y aumentan los costos operativos.

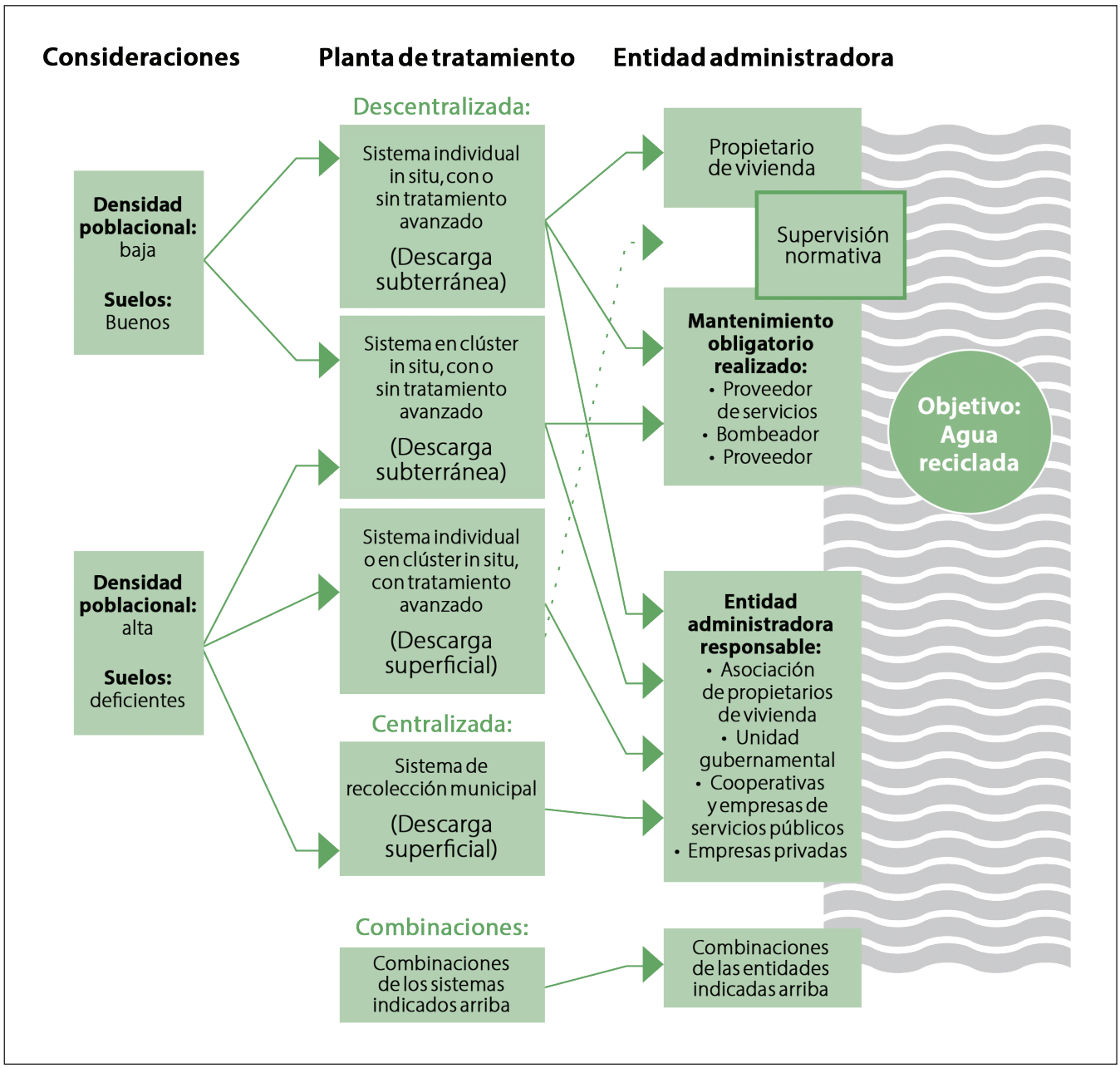
Igualmente importante es controlar lo que entra en el sistema desde las casas y las empresas. Las toallitas húmedas “desechables por el inodoro”, la grasa, los productos de higiene desechables y otros residuos obstruyen las bombas y dañan los equipos. Los productos farmacéuticos y de cuidado personal (PPCP), que incluyen medicamentos, lociones, jabones y cosméticos, son una preocupación cada vez mayor. El tratamiento de aguas residuales no se diseñó para eliminar muchos de estos compuestos, y cantidades mínimas de ellos pueden llegar a las aguas receptoras. Diversos estudios han relacionado los PPCP presentes en las vías de agua con la alteración endocrina de la vida acuática y el desarrollo de bacterias resistentes a los antibióticos. Si bien los impactos a largo plazo en la salud humana aún están en estudio, los riesgos potenciales justifican la adopción de medidas de precaución.

Los miembros de juntas directivas y los líderes comunitarios deben combinar una ordenanza sólida con una educación pública activa. Las campañas de difusión, los folletos en las facturas y los programas de recepción de productos pueden reforzar la idea de que los inodoros no son cubos de basura. Se debe alentar a los residentes a no desechar medicamentos por el inodoro y a devolver los medicamentos no utilizados a las farmacias o a los programas de recolección aprobados. Cuando sea necesario desechar los medicamentos en la basura doméstica, estos deben retirarse de sus envases originales, mezclarse con un material desagradable (como posos de café usados o arena para gatos) y sellarse en un recipiente hermético. **Reglas claras, una aplicación consistente de las normas y una educación pública continua protegen la fiabilidad del sistema, el cumplimiento normativo, la calidad ambiental y las inversiones de los contribuyentes.**

# Cómo iniciamos un proyecto de mejora de aguas residuales

Las secciones anteriores le proporcionaron información y herramientas sobre aguas residuales para que no inicie el proceso de adquisición de un sistema de tratamiento de aguas residuales para su casa, vecindario o comunidad sin el conocimiento necesario. **Esta sección le ofrece una descripción general de los pasos necesarios para modernizar o desarrollar un sistema de alcantarillado. No abarca la creación de una entidad administradora legal, ni tampoco cómo administrar una empresa de servicios públicos.**

Las necesidades o condiciones específicas podrían requerir un enfoque diferente o variaciones:



- Los propietarios de casas individuales no deben seguir este proceso; en su lugar, deben consultar con el inspector sanitario o el departamento de salud de su condado para obtener orientación específica local sobre las tecnologías apropiadas/aprobadas según las condiciones del suelo y las ordenanzas. Los sistemas individuales requieren un proceso menos detallado, pero debe ser realizado por un profesional certificado, como un especialista en salud ambiental registrado o un instalador/plomero certificado, según corresponda para la ubicación del proyecto.
- Para las nuevas instalaciones o servicios públicos comunitarios, asegúrese de que su organización tenga autorización legal para supervisar la administración de aguas residuales: poseer y operar una instalación, contratar empleados, obtener préstamos, etc. De lo contrario, deberá constituir una entidad jurídica o tener el pleno respaldo y autorización de una entidad que sí la tenga. Por ejemplo, la junta de alcantarillado de un condado podría designar a su comité de voluntarios para que les proporcione recomendaciones profesionales o tecnológicas. Se debe designar o crear una entidad legal para supervisar el servicio público. Para obtener más información, póngase en contacto con un TAP de su región, ya que ese tema queda fuera del alcance de esta guía.

## Contratación de profesionales cualificados

La administración y el tratamiento de las aguas residuales están regulados por leyes y regulaciones estatales y federales. Además, muchas tareas en el proceso de adquisición, diseño, selección, construcción, instalación, operación y mantenimiento también requieren certificaciones o licencias específicas. Los organismos normativos y la industria del tratamiento de aguas residuales promueven el desarrollo, el uso y el cumplimiento de estándares y certificaciones de productos, por ejemplo, los estándares NSF International/ANSI. Las entidades financieras también tienen sus propios requisitos de adquisición.



Comprender estos requisitos puede ser tan complicado como comprender todos los aspectos técnicos del tratamiento de aguas residuales, por lo que contar con la ayuda de profesionales cualificados y con experiencia es una buena opción.

Asegúrese de que las personas que le ayuden en este proceso no tengan ningún conflicto de intereses. Por ejemplo, los proveedores de servicios o de equipos suelen tener la preparación y la experiencia necesarias, y en algún momento del proyecto serán de gran ayuda y resultarán muy importantes, pero sus objetivos laborales son brindar un servicio o vender equipos.

Las comunidades o las pequeñas empresas de servicios públicos pueden obtener esta ayuda de los “proveedores de asistencia técnica” (TAP) de las organizaciones asociadas de RCAP. Los TAP pueden acompañarle y ayudarle en todas las etapas de su proyecto sin ningún costo para usted.

## Proceso típico de proyectos (sistemas comunitarios)

### Definición del problema

Colabore con su operador, si lo tiene, con las autoridades de salud locales o con los grupos de administración de cuencas hidrográficas, y recopile todos los datos disponibles, como estudios de cuencas hidrográficas o informes de monitoreo y operación. Asegúrese de que, además del aspecto técnico del problema, se tengan en cuenta la opinión y los intereses de la comunidad. Más adelante, durante el estudio de ingeniería, su ingeniero obtendrá más información; por ahora, enfóquese en hacer el mejor trabajo posible.

### Adquisición de servicios profesionales (RFP/RFQ)

El diseño y la evaluación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales debe hacerlos un ingeniero profesional u otro profesional certificado en el tratamiento de aguas residuales, según las regulaciones estatales o locales. El uso de estos profesionales acreditados implica que su trabajo estará certificado y que serán responsables de su trabajo y de los sistemas que seleccionen de acuerdo con las leyes y regulaciones del lugar donde se emitió la licencia o certificación. Por lo tanto,

es importante solicitar copias de las certificaciones y licencias y comprobar que estén vigentes.

Su organización debe cumplir con las reglas de adquisición pública establecidas por las regulaciones estatales y las agencias de financiación. Debe saber cuáles son tales reglas antes de empezar, con el fin de no tener que repetir el proceso o que su decisión sea cuestionada. Mantenga registros detallados: la mayoría de los organismos federales de financiación requerirán información sobre su proceso de selección como parte de la evaluación de su solicitud de fondos.

Para los servicios de ingeniería, se recomienda utilizar el proceso de "selección basada en cualificaciones" (QBS), que evalúa en función de la experiencia y las habilidades de las empresas. El documento que se envía a las empresas y que se publicita es una "solicitud de cualificaciones" (RFQ). En primer lugar, se evaluarán las propuestas de las empresas y, a continuación, se entrevistará a una lista reducida de finalistas. El precio se aborda solamente en la última etapa; si no se puede negociar un precio, se contacta con el siguiente candidato mejor cualificado.

Otros profesionales, como los consultores financieros, generalmente se contratan mediante "solicitudes de propuestas" (RFP) tradicionales, donde el precio se especifica y se considera de antemano.

Elabore una lista de profesionales con experiencia en proyectos similares. Es una buena práctica (y puede ser un requisito) contactar al menos a tres (3); tenga en cuenta cualquier regulación sobre la participación de empresas propiedad de minorías/mujeres y los requisitos de notificación pública.

Organice todas las propuestas recibidas y asegúrese de que todas cumplan con la RFP/RFQ en cuanto a la información que deben incluir. Las propuestas presentadas tarde que no sigan las instrucciones o no cumplan con la RFP/RFQ deben descartarse y no tenerse en cuenta. Si tales solicitantes no pueden seguir las reglas o proporcionar una respuesta responsable y profesional, podría ser una señal de alerta sobre posibles problemas posteriores en el proyecto o con el servicio o los productos ofrecidos. Siempre resulta útil utilizar una tabla para comparar las propuestas y los requisitos, especialmente como parte de la documentación para el organismo financiador.

Documente todo el proceso de selección. Es una buena práctica administrativa que siempre participen tres o más personas. Obtenga opiniones por escrito o incluya en las actas de las reuniones cualquier recomendación de los profesionales cualificados en tratamiento de aguas residuales que le estén brindando asistencia.

## Documentos de ingeniería y medio ambiente

El documento que normalmente se requiere para las solicitudes de financiación se llama "**informe preliminar de ingeniería**" (PER). Se trata de un estudio general de viabilidad que debe ser aprobado por un ingeniero con licencia. Un PER incluye la evaluación y las estimaciones de costos correspondientes para un mínimo de tres alternativas de una solución en el proyecto. Su contenido es prácticamente estándar, pero siempre consulte con los organismos de financiación para conocer los requisitos específicos. El PER debe evaluar el sitio potencial, haciendo referencia a la capacidad de carga del cuerpo de agua receptor (si lo hay), y formular una recomendación final tanto para los procesos de recolección como de tratamiento. El PER debería evaluar las oportunidades de regionalización/asociación con instalaciones vecinas. Debe incluirse un análisis de los costos del ciclo de vida y de los costos por usuario.

Los proyectos financiados con fondos federales también requieren algún tipo de informe ambiental (ER) que detalle todos los impactos previstos del proyecto en la zona. Esto lo puede hacer el ingeniero, aunque un administrador de subvenciones o un asesor técnico cualificado puede ayudar con el trabajo preliminar y compensar parte de los costos.

## Selección de la tecnología de tratamiento de aguas residuales adecuada

Al considerar qué tecnologías de tratamiento centralizado son las mejores para su comunidad, existen muchas variables que deben analizarse. Al tomar estas decisiones, debe recurrir a diversos recursos, como su ingeniero consultor (y la información del informe de ingeniería preliminar), los requisitos normativos y de los financiadores, los departamentos de salud locales, los consultores



*Aireador superficial con panel solar*

financieros y legales y los proveedores de asistencia técnica. Para los sistemas pequeños con una base de clientes limitada, el objetivo suele ser cumplir con los requisitos normativos mientras se mantienen precios asequibles. Las siguientes variables ayudarán a los responsables de la toma de decisiones a determinar y seleccionar la tecnología de tratamiento más adecuada para sus comunidades:

**Límites de efluentes.** Este suele ser el factor determinante para los sistemas pequeños que necesitan modernizar su proceso de tratamiento de aguas residuales. Las tecnologías actuales de muchos sistemas no pueden cumplir con las nuevas regulaciones sobre la calidad del agua de efluentes. Estas regulaciones son establecidas por el organismo estatal primario y están directamente relacionadas con el lugar donde su sistema descarga los efluentes. Es importante seleccionar una tecnología que cumpla con los requisitos normativos actuales o futuros. Los servicios de ingeniería profesional pueden proporcionar una valiosa orientación para identificar las opciones tecnológicas adecuadas.

**Costos de capital**. En general, cuanto más avanzada sea la tecnología, mayores serán los costos iniciales de construcción. Sin embargo, en muchos casos, la tecnología avanzada puede suponer un menor costo en el presupuesto anual. Por ejemplo, un sistema de desinfección ultravioleta (UV) costará considerablemente más que un sistema de desinfección con cloro tradicional, pero eliminará los costos recurrentes de los productos químicos. Asimismo, la incorporación de un variador de frecuencia (VFD) permitirá ahorrar costos considerables a largo plazo en las facturas de servicios públicos, al posibilitar que los motores funcionen de forma más eficiente.

**Costos de operación y mantenimiento (OyM)**. Estos costos suelen estar asociados al proceso del presupuesto anual. Al igual que los costos de capital, los costos de operación y mantenimiento generalmente son más elevados con una tecnología más avanzada. Esta es una variable que debe considerarse cuidadosamente. Este costo frecuentemente es eclipsado por los costos de capital y los requisitos normativos. Es fundamental comprender esta variable y su impacto en los costos totales para los clientes.

**Complejidad operativa**. Cada oficina estatal competente tiene criterios para determinar la clasificación de un sistema de aguas residuales. Saber cómo una tecnología propuesta puede cambiar la clasificación del sistema de aguas residuales podría requerir que los operadores obtengan certificaciones especializadas, lo que a su vez aumentaría el costo de la mano de obra. Además, la complejidad puede requerir operadores adicionales para mantener la debida diligencia de los parámetros operativos, nuevas habilidades, nuevos acuerdos con proveedores, más instrumentación, etc.

Cada una de estas variables influirá en su proceso de toma de decisiones. Los costos de capital son solo una parte del panorama financiero general. Comprender cómo todas las variables impactarán los costos para los clientes garantizará tarifas más predecibles, consistentes y, posiblemente, asequibles.

## Búsqueda de financiación para el proyecto

Una vez que se haya seleccionado una opción y se haya adoptado el PER formalmente, comienza el proceso de búsqueda de financiación para la construcción. Se recomienda encarecidamente colaborar con un TAP o un consultor financiero de empresas municipales/de servicios públicos para evaluar diversas situaciones de financiación y predecir las tarifas para el usuario final mediante un análisis de tarifas.

Sus consultores y sus TAP deben tener información sobre posibles fuentes de financiación, como el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), la USEPA, los programas de Subvenciones en Bloque para el Desarrollo Comunitario (CDBG), etc., u otras organizaciones estatales o privadas. Estas personas pueden ayudarle a consultar con los diferentes organismos de financiación para hablar sobre su proyecto, las opciones de financiación y los requisitos correspondientes.

Para solicitar préstamos con intereses bajos y subvenciones de fuentes federales y de otro tipo, es probable que su proyecto deba presentar el PER, el ER e información financiera. Una vez asegurada la financiación, se elaborarán los planos de ingeniería y un conjunto de especificaciones para el trabajo, el equipo y los materiales. Estas especificaciones deben incluir los estándares recomendados para el sistema de tratamiento de aguas residuales seleccionado, como las de NSF International/ANSI (si corresponde). Las especificaciones deben formar parte de cualquier proceso de adquisición o solicitud de propuestas.

# Por qué es importante una administración competente de las empresas de tratamiento de aguas residuales

Aunque queda fuera del alcance de esta guía, es importante señalar que la entidad administrativa de una empresa de tratamiento de aguas residuales es tan importante como el funcionamiento técnico de la planta de tratamiento, y debe establecerse mucho antes de que comiencen las operaciones.

Muchos sistemas de tratamiento de aguas residuales han fracasado no por la incapacidad de los operadores, sino por una administración deficiente. Un sistema eficaz requiere prestar atención a una variedad de cuestiones que no impactan directamente al proceso de tratamiento, como la salud y la seguridad de los empleados, la retención de personal cualificado y el desarrollo de sus habilidades, el mantenimiento de registros, el conocimiento de las regulaciones y la administración financiera.

Para abordar estas cuestiones, el sistema debe generar ingresos suficientes para cubrir su operación y mantenimiento, ofrecer sueldos y prestaciones suficientes para atraer y retener a operadores cuyas habilidades satisfagan las necesidades del sistema, financiar el reemplazo previsto de componentes críticos y cubrir los pagos de los préstamos.

Para asegurarse de que los clientes paguen una parte justa de los costos de operación del sistema, es importante saber la cantidad de aguas residuales que generan. En la mayoría de las comunidades, las tarifas de aguas residuales se basan en el consumo de agua porque, aparte del uso en exteriores, el agua que entra en la casa como agua potable sale como aguas residuales que deben tratarse. Algunos sistemas cobran tarifas más altas a negocios como restaurantes, lavanderías y plantas procesadoras de alimentos que generan aguas residuales de mayor concentración.

Con todo esto, es obvio que una administración competente es tan importante para el éxito del sistema como la cualificación de los operadores. Un sistema de tratamiento de aguas residuales es un recurso comunitario crucial, aunque generalmente poco valorado. Como elemento fundamental de la infraestructura comunitaria, el sistema de aguas residuales necesita recibir mantenimiento para que continúe cumpliendo su función en el futuro.

Esta página se dejó intencionadamente en blanco

# Una gota de conocimiento… ¿Pero necesita más?

Ahora que ha terminado de leer esta guía, esperamos que tenga una mejor comprensión de los sistemas de aguas residuales. Si tiene alguna pregunta, la mejor persona a la que acudir probablemente es el operador de su sistema. Como responsable de garantizar el correcto funcionamiento diario de este sistema, su operador estará familiarizado con los procesos y los problemas descritos en esta guía. Los recursos adicionales que se listan a partir de la página 48 son otras organizaciones e instituciones que ofrecen una gran cantidad de asistencia técnica, publicaciones, revistas y otros tipos de ayuda para las pequeñas comunidades rurales.

**Otras publicaciones de RCAP que ofrecen ayuda con la operación y administración de sistemas de aguas residuales**

Las siguientes publicaciones pueden consultarse y descargarse gratuitamente (en formato PDF) en el sitio web de RCAP en: https://www.rcap.org/community-resources/.

- Cómo lograr que su proyecto fluya sin contratiempos
- Guía de financiamiento y administración del programa de aguas pluviales
- Conceptos básicos de administración financiera para sistemas de comunidades pequeñas
- Un recurso para pequeñas empresas de servicios públicos: El mapeo de roles es útil para las empresas de servicios públicos pequeñas, rurales o tribales
- Formulación de excelentes tarifas: Guía para un estudio de tarifas para un sistema pequeño
- Guía de sistemas sépticos para propietarios de casas
- Guía completa para juntas directivas de pequeñas empresas de servicios públicos

Recursos gratuitos que podemos enviarle periódicamente:

La revista electrónica de RCAP, ***Rural Matters*** (trimestral), que presenta historias prácticas y reales de pequeñas comunidades que destacan cómo RCAP y sus socios regionales brindaron asistencia técnica específica para ayudar a los líderes y operadores locales a resolver desafíos de cumplimiento, estabilizar las operaciones, obtener financiamiento y fortalecer la sostenibilidad del sistema a largo plazo.

RCAP también produce un boletín electrónico mensual titulado **A Drop of Knowledge** (Una gota de conocimiento). Cada número ofrece consejos útiles, guías y recursos sobre temas prácticos.

Esta página se dejó intencionadamente en blanco

# Apéndice A: Comparación de sistemas de recolección alternativos

Al evaluar las alternativas, deben considerarse tanto los costos de capital como los costos de operación y mantenimiento a largo plazo. Si bien la instalación puede resultar menos costosa, los sistemas alternativos con frecuencia requieren una administración activa de componentes distribuidos, como tanques de pozos sépticos o bombas. Los informes de ingeniería preliminares o los estudios de viabilidad de su proyecto deben comparar todos los costos. Un consultor de ingeniería o un proveedor de asistencia técnica, como un miembro del personal de RCAP, podría ayudar a evaluar dicho estudio.

## Sistemas de STEP

Un sistema de STEP consta de un tanque de pozo séptico para el pretratamiento de las aguas residuales y una bomba sumergible de baja potencia para impulsar las aguas residuales hacia la tubería principal de alcantarillado a presión. Todas las aguas residuales de cada casa o negocio ingresan al tanque del pozo séptico a través del desagüe por gravedad que sale de cada edificio. En el tanque del pozo séptico, las aguas residuales se separan en tres capas. Las grasas y los materiales flotantes suben a la superficie, los materiales sólidos se asientan en el fondo y el líquido parcialmente clarificado ("efluente") permanece en el medio. Las aguas residuales se bombean al alcantarillado a presión mediante una bomba de efluentes ubicada en una cámara de bombeo, ya sea dentro del segundo compartimento del tanque del pozo séptico o junto al tanque. Debido a que el efluente está relativamente libre de sólidos, el alcantarillado puede tener un diámetro de tan solo 1.5 pulgadas para las tuberías de descarga que conducen a la conexión de servicio, y de 2 o 3 pulgadas para las tuberías principales; estas medidas son mucho más pequeñas en comparación con el alcantarillado convencional, que normalmente debe tener un diámetro mínimo de 8 pulgadas. La mayoría de los sistemas de STEP utilizan tanques de pozos sépticos nuevos, incluso cuando reemplazan sistemas sépticos existentes. Se siguen procedimientos especiales de diseño e instalación para garantizar la hermeticidad a largo plazo y evitar que las aguas subterráneas y superficiales se filtren o se bombeen al alcantarillado a presión (la bomba eliminará el líquido que entre en la cámara de bombeo independientemente de su origen).

## Sistemas de bomba trituradora (BT)

Los sistemas de alcantarillado a presión con bomba trituradora funcionan un poco diferente a los sistemas de STEP. Con este sistema, no hay tanque de pozo séptico. El tratamiento preliminar se realiza mediante una bomba trituradora, que se encuentra en una cámara de plástico hermética con una capacidad de entre 70 y 120 galones aproximadamente. La bomba trituradora es similar a un triturador de basura, ya que los materiales sólidos presentes en las aguas residuales se cortan y se muelen hasta convertirlos en trozos diminutos. A continuación, todas las aguas residuales se bombean a la conexión de servicio presurizada y a la tubería principal de alcantarillado a presión. Las bombas trituradoras suelen tener una potencia de uno o más caballos de fuerza y se encienden y apagan según los niveles en la cámara de bombeo. La cámara de la bomba y los controles suelen ser suministrados como un conjunto por el fabricante de la bomba. Además de reducir el tamaño de los sólidos de las aguas residuales, la calidad del efluente de la bomba trituradora es similar a la de las aguas residuales sin tratar, lo que requiere un tratamiento completo por parte del sistema de tratamiento receptor, pero tiene la ventaja sobre un sistema de STEP de no requerir la eliminación periódica de residuos sépticos in situ. La vida útil de la bomba puede ser más corta y el consumo de energía ligeramente mayor en comparación con las bombas del sistema de STEP. La eliminación adicional de sólidos y la digestión de materia orgánica que proporciona el sistema de STEP pueden ser características preferibles en combinación con los sistemas de tratamiento final y eliminación utilizados en sistemas en clúster descentralizados.

## Efluentes de tanques de pozos sépticos y alcantarillado por gravedad

Los sistemas de efluentes por gravedad de tanques de pozos sépticos (STEG) son una tercera tecnología alternativa de alcantarillado que las pequeñas comunidades pueden considerar. Los sistemas de STEG también se conocen con otros nombres, como alcantarillado por gravedad de diámetro pequeño, alcantarillado de efluentes de pendiente variable

o de pendiente mínima. Al igual que el alcantarillado convencional, los sistemas de STEG utilizan la gravedad en lugar de bombas o presión para recolectar y transportar las aguas residuales al sistema de tratamiento final o a la tubería principal de alcantarillado convencional. Al igual que los sistemas de alcantarillado STEP presurizados, los sistemas de STEG utilizan tanques de pozos sépticos para proporcionar un tratamiento primario a las aguas residuales domésticas, lo que permite que la mayor parte de los materiales sólidos se asienten. Los depósitos herméticos son, de la misma manera, componentes críticos del sistema de STEG. Estas tuberías, que transportan menos sólidos, pueden tener un diámetro menor que las tuberías convencionales, pero suelen ser algo más grandes (de 3 a 4 pulgadas) que las utilizadas para el alcantarillado a presión, con el fin de procesar cualquier sólido que pueda escaparse en el efluente de tanque de pozo séptico que no funcione correctamente o esté sobrecargada. La mayoría de los diseños de sistemas de STEG requieren la inclusión de una criba o filtro de efluentes en la salida del tanque del pozo séptico (generalmente con aberturas de 1/8 de pulgada o más pequeñas). Al depender de la gravedad, el punto donde comienza el sistema de alcantarillado siempre debe estar más alto que donde termina, y ninguna parte del sistema puede estar más alta que el punto de partida. Sin embargo, los sistemas de STEG se pueden instalar con pendientes variables. El efluente se acumulará en los puntos bajos hasta que se genere más presión para empujar las aguas residuales por encima del "punto alto" en la tubería, un proceso llamado sobrecarga o sifonamiento. Cualquier "punto alto" de este tipo a lo largo de la tubería principal de alcantarillado debe estar muy por debajo de la salida de cualquier tanque de pozo séptico conectado. Un diseñador experimentado es fundamental para considerar plenamente la topografía, el número, las elevaciones y la ubicación relativa de las conexiones. Con un tanque de pozo séptico en cada conexión, el funcionamiento y el mantenimiento de las conexiones STEG son similares a los de los sistemas de STEP y sépticos, incluyendo una inspección anual y el bombeo del tanque según sea necesario. Se puede acceder a las acometidas sanitarias del sistema de STEG (las tuberías que van a cada conexión de servicio) para limpiarlas, si es necesario, a través de una serie de registros de limpieza. No es raro que los sistemas de STEG y STEP se utilicen conjuntamente.

## Alcantarillado por vacío

Los sistemas de alcantarillado por vacío son otra tecnología alternativa de recolección que se está utilizando en algunas comunidades de los Estados Unidos. Estos sistemas se basan en la succión del vacío, creado por una o más estaciones de bombeo centrales, con tuberías de vacío de diámetro relativamente pequeño conectadas a pozos de válvulas de vacío que recolectan las aguas residuales sin tratar de una a cuatro conexiones contiguas. Desde los pozos de las válvulas de vacío, las aguas residuales se transportan por vacío a través de la tubería principal de alcantarillado hasta un tanque de recolección en las estaciones de bombeo de vacío para su transporte final al sistema de tratamiento. En las conexiones individuales al sistema no hay componentes eléctricos, y no se necesitan tanques intermedios ni accesorios entre las instalaciones conectadas y los pozos de las válvulas de vacío, aparte de la línea de alcantarillado y de servicio estándar del edificio. Desde el tanque de recolección, las aguas residuales generalmente se bombean mediante componentes convencionales de una estación elevadora a una ubicación cercana o remota para su tratamiento. Las bombas de vacío están equipadas con alarmas que se activan al perderse el vacío, así como con un generador de respaldo de emergencia en caso de un corte de energía u otro problema. Para estos sistemas se pueden utilizar tuberías de plástico de diámetro pequeño. Generalmente, se utilizan tuberías de 3 o 4 pulgadas de diámetro desde la conexión de servicio, y de 4 a 10 pulgadas para las tuberías principales, según el flujo y el diseño del sistema. Además, el sistema de aspiración mantiene las tuberías muy limpias, así que, por lo general, los registros de limpieza no son necesarios. Al igual que el alcantarillado a presión, el alcantarillado por vacío es un sistema de recolección relativamente hermético con pocas posibilidades de infiltración o afluente de elementos externos que sobrecarguen la planta de tratamiento. Un diseño integrado es un prerrequisito indispensable, al igual que un alto nivel de asistencia por parte del fabricante de componentes de vacío en las fases de diseño, instalación y operación y mantenimiento continuos. Los operadores especialmente capacitados deben estar siempre disponibles para responder con rapidez ante situaciones de alarma, como la pérdida de vacío que impediría la eliminación de aguas residuales de los pozos de vacío conectados. Esto implica la capacidad de identificar rápidamente la causa del problema e implementar las reparaciones necesarias para restablecer el servicio. Por lo tanto, el número mínimo de conexiones para que esta opción sea económicamente viable es mayor en comparación con otras opciones de sistemas de recolección alternativos.

## Opciones de alcantarillado de recolección y características comparativas

| Opciones de alcantarillado de recolección | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Tipo de sistema** | **Tubería Tamaño** | **¿Pretrata-miento requerido?** | **¿Inclinación variable?** | **¿Dirección de barrenado factible?** | **¿Requiere OyM in situ?** | **¿Servicio a áreas de baja densidad?** |
| **Convencional (gravedad)** | ≥8” | No | Sin variación entre bocas de acceso | No | No | Menos rentable |
| **Alcantarillado a presión** | 1-1/4-4” | Sí*^ | Sí | Sí | Sí | Sí |
| **STEP** | 1-1/4-4” | Sí^ | Sí | Sí | Sí | Sí |
| **BT** | 2” | No | Sí | Sí | Sí | Sí |
| **STEG** | 3-4” | Sí* | Sí | Sí[#] | Sí | Sí |
| **Vacío** | 3-4” | No | Sí | Sí | No[@] | Menos rentable |

Esta página se dejó intencionadamente en blanco

# Apéndice B: Comparación de tecnologías de tratamiento secundario

| | Procesos de tratamiento aeróbico | | Procesos de tratamiento anaeróbico |
|---|---|---|---|
| | **Filtro en suspensión/ lodos activados** | **Película fija** | |
| **Modos o variaciones** | Aireación prolongada, aireación por pasos, estabilización por contacto, convencional, reactor secuencial por lotes (SBR), eliminación biológica de nutrientes (BNR), reactores biológicos de membrana (MBR), zanja de oxidación. | Filtros de goteo, contactores biológicos rotativos (RBC), biotorres. | Reactor de flujo ascendente, reactor de manto de lodos, reactor de filtro, tanque agitado continuo, proceso de contacto anaeróbico. |
| **Descripción** | Proceso biológico de tratamiento aeróbico en el que los microorganismos en suspensión consumen materia orgánica disuelta en condiciones con oxígeno disuelto. | Proceso biológico de tratamiento aeróbico en el que los microorganismos en superficies de película fija consumen materia orgánica disuelta en condiciones con oxígeno disuelto. | Proceso biológico de tratamiento anaeróbico en el que los microorganismos consumen sólidos orgánicos en condiciones sin oxígeno disuelto. Tres tipos de bacterias descomponen los sólidos orgánicos en metano. |
| **Capacidad de control de procesos** | ALTA. Existen muchos métodos de control de procesos para estos procesos y con una precisión significativa. Algunos ejemplos son la relación alimento/masa, el tiempo medio de retención celular y la edad del lodo. Totalmente ajustable según los resultados de las pruebas de control de procesos. | MEDIA. Capacidad limitada y generalmente reducida a garantizar el funcionamiento del equipo y hacer ajustes menores, mediciones y pruebas. | ALTA. Por lo general, el control del proceso de digestión anaeróbica implica monitorear la relación entre los sólidos volátiles de la alimentación y los del reactor, mantener un pH estable y una capacidad amortiguadora dentro del reactor, y hacer un seguimiento de la relación entre el volumen de ácidos grasos y la alcalinidad. |
| **Complejidad de la operación** | ALTA. Operación que requiere mano de obra intensiva. La mayoría de las jurisdicciones requieren operadores certificados. El número de operadores necesarios suele depender de las regulaciones estatales, que consideran la complejidad de la planta, su capacidad y la población a la que brinda servicio. Requiere pruebas complejas, análisis de laboratorio y cálculos. Los requisitos del permiso de descargas influirán en la operación. | MEDIA. La operación se enfoca en mantener el equipo en funcionamiento con ajustes menores. Normalmente funciona con un solo turno, pero puede variar según las regulaciones estatales, la complejidad de la planta, la capacidad y la población atendida. Limitada a unas pocas pruebas para el control del proceso, aparte de las requeridas por los permisos de descargas. | ALTA. Operación que requiere mano de obra intensiva. La mayoría de las jurisdicciones requieren operadores certificados. El número de operadores necesarios suele depender de las regulaciones estatales, que consideran la complejidad de la planta, su capacidad y la población a la que brinda servicio. Requiere pruebas complejas, análisis de laboratorio y cálculos. Los requisitos del permiso de descargas influirán en la operación. |
| **Mantenimiento** | ALTO. La mayoría de los programas de mantenimiento incluyen mantenimiento preventivo y correctivo. Requiere mano de obra intensiva. | MEDIO. La mayoría de los programas de mantenimiento incluyen mantenimiento preventivo y correctivo. Requiere mano de obra intensiva. | ALTO. La mayoría de los programas de mantenimiento incluyen mantenimiento preventivo y correctivo. Requiere mano de obra intensiva. |
| **Consumo de energía** | ALTO | MEDIO | ALTO |
| **Costos de capital** | ALTOS | MEDIOS | ALTOS |
| **Costos de operación y mantenimiento** | ALTOS | MEDIOS | ALTOS |

Nota: Estos procesos de tratamiento no son exclusivos de los sistemas centralizados y pueden encontrarse a menor escala como parte de sistemas de tratamiento descentralizados o in situ. La distinción entre sistemas centralizados y descentralizados está relacionada con la organización del sistema de recolección y el número de casas incluidas en el sistema de tratamiento. Esto se explica con más detalle en esta guía.

Esta página se dejó intencionadamente en blanco

# Apéndice C: Comparación de tecnologías de lodos activados

| No. | Descripción | Aireación prolongada | Reactores secuenciales por lotes (SBR) | Zanjas de oxidación |
|---|---|---|---|---|
| 1. | **Tipo y modo de proceso** | Proceso de tratamiento biológico aeróbico, filtro en suspensión, lodos activados | Proceso de tratamiento biológico aeróbico, filtro en suspensión, lodos activados | Proceso de tratamiento biológico aeróbico, filtro en suspensión, lodos activados |
| 2. | **Características del proceso** | Las plantas de tratamiento de aireación prolongada trabajan con el exceso de microorganismos para asegurar la digestión completa de los contaminantes orgánicos que se introducen en el tanque de aireación. | Un reactor secuencial por lotes (SBR) es una variante del proceso de lodos activados. Como proceso de llenado y vaciado o por lotes, la secuencia de operaciones del SBR incluye llenado mixto, llenado reactivo, reacción, asentamiento y decantación. | Un canal de oxidación (una forma modificada del proceso de lodos activados) es un proceso de mezcla completa, aireado y a largo plazo. Muchos sistemas están diseñados para funcionar como sistemas de aireación prolongada. Los sistemas típicos de tratamiento mediante zanjas de oxidación consisten en una configuración de uno o varios canales dentro de un depósito en forma de anillo, óvalo o herradura. |
| 3. | **Aireación** | El aire puede suministrarse mediante aireación mecánica o por difusión para proporcionar el oxígeno necesario para mantener el proceso biológico aeróbico. | El aire puede suministrarse mediante aireación mecánica o por difusión para proporcionar el oxígeno necesario para mantener el proceso biológico aeróbico. | Aireadores mecánicos de superficie dispuestos a lo ancho. |
| 4. | **Mezclado** | El mezclado debe hacerse mediante aireación o medios mecánicos para mantener los microorganismos en contacto con la materia orgánica disuelta. | La mayoría de los reactores SBR utilizan mezcladores mecánicos. | Mezclado mecánico y circulación de flujo en el tanque. |
| 5. | **Rango de MLSS (mg/l)** | 1,500 a 5,000 | 2,000 a 5,000 | 1,500 a 5,000 |
| 6. | **Tiempo de retención de lodos, días** | 20 a 30 | 5 a 30 | 4 a 48 |
| 7. | **Frecuencia de purga de lodos** | La purga generalmente se hace una vez cada 12 a 18 meses, según un inventario de sólidos y el desempeño de la planta. | Una vez por ciclo, según los cálculos de control de procesos. | De forma continua o diaria, según los cálculos de control de procesos. |
| 8. | **Relación alimento/masa (A/M), libras de DBO por día/libras de MLVSS** | 0.05 a 0.15 | 0.15 a 0.40 | 0.05 a 0.30 |
| 9. | **Tamaño típico (MGD)** | 0.002 a 0.100 | 0.500 o menos | 0.010 a 0.500 |
| 10. | **Sistema de lodos activados de recirculación/purga de lodos activados** | La mayoría de las plantas de aireación prolongada son pequeñas, y los sistemas RAS y WAS son de tipo “elevación neumática”, aunque algunos sistemas utilizan bombas mecánicas. | La recirculación de lodos se produce internamente dentro del reactor. Uso de purgado de una bomba mecánica. | Las zanjas de oxidación son adecuadas para instalaciones que requieren la eliminación de nutrientes, que tienen limitaciones debido a la naturaleza del sitio o que desean un sistema biológico que ahorre energía con un uso limitado de productos químicos, a menos que sean necesarios para un tratamiento adicional. |
| 11. | **Usos** | Las plantas compactas de aireación prolongada generalmente se utilizan en municipios pequeños, subdivisiones suburbanas, complejos de apartamentos, áreas de descanso de autopistas, parques de casas móviles, pequeñas instituciones y otros lugares donde los caudales son inferiores a 0.1 MGD. Ocupa poco espacio. | Los SBR son adecuados para áreas con poca superficie de terreno, requisitos de tratamiento estrictos y flujos de aguas residuales reducidos. Más concretamente, los SBR son apropiados para parques de casas rodantes o casas móviles, campamentos, obras de construcción, escuelas rurales, hoteles y otras aplicaciones de pequeña escala. Ocupan poco espacio. El proceso puede ajustarse para aumentar la eliminación de nutrientes o el tiempo de los ciclos para compensar las cargas hidráulicas u orgánicas. | Las zanjas de oxidación son especialmente útiles para escuelas, pequeñas industrias, urbanizaciones y comunidades pequeñas. En definitiva, esta tecnología resulta más adecuada para lugares que tienen una gran cantidad de terreno. |
| 12. | **Desventajas** | Las plantas de aireación prolongada no logran la desnitrificación ni la eliminación de fósforo sin procesos unitarios adicionales. Estos sistemas requieren mayor espacio y capacidad de almacenamiento que otros procesos de “mayor caudal”, que tienen tiempos de retención de aireación más cortos. | Mucho mantenimiento y consumo de energía. Operación compleja para comunidades pequeñas. Mayor generación de lodos y, por lo tanto, mayor manejo y eliminación. | Las zanjas de oxidación pueden ser ruidosas debido a los equipos de mezclado y aireación, y tienden a producir olores cuando no se operan correctamente. El tratamiento biológico no puede tratar flujos de residuos altamente tóxicos. Los sistemas ocupan un espacio relativamente grande. |

Esta página se dejó intencionadamente en blanco

# Apéndice D: Comparación de tecnologías de pretratamiento avanzado descentralizado

El pretratamiento avanzado generalmente tiene como objetivo lograr una mayor reducción de la materia orgánica, los sólidos en suspensión, los patógenos y los nutrientes. El pretratamiento avanzado puede ayudar a superar las limitaciones del suelo de un sitio (p. ej., baja permeabilidad, reducida separación vertical con respecto al agua subterránea o permitir la reducción del tamaño del área de tratamiento o de las distancias de seguridad horizontales). El pretratamiento avanzado también es un prerrequisito para restaurantes y otros establecimientos de servicio de alimentos que suelen tener una carga orgánica mucho mayor que la de los efluentes domésticos de tanques de pozos sépticos antes del tratamiento final del suelo y eliminación. En muchos lugares, la reducción de nutrientes (especialmente de nitrógeno) es también el principal motivo para —y a veces requiere— el uso de sistemas de pretratamiento avanzado especialmente diseñados.

Existe una amplia variedad de sistemas de pretratamiento avanzado, con diversos métodos de tratamiento, capacidades, costos, necesidades de espacio y requisitos de operación y mantenimiento para garantizar un desempeño sostenible a largo plazo. Algunos son genéricos y requieren un diseño específico para cada sitio (generalmente a cargo de un ingeniero profesional con licencia), y muchos son de propiedad exclusiva y utilizan modelos prefabricados desarrollados por la industria.

Siempre se debe confirmar el cumplimiento de las regulaciones estatales y locales. Además del costo del sistema, la capacidad para lograr los estándares de tratamiento deseados y el cumplimiento normativo, hay otras consideraciones importantes que deben tenerse en cuenta al seleccionar un sistema para su uso en sistemas descentralizados domésticos o en comunidades pequeñas. ¿Los diseñadores, instaladores y operadores locales están familiarizados con el sistema propuesto y están disponibles para brindar soporte en el uso del sistema en la localidad? ¿Existe un buen historial y un desempeño demostrado a largo plazo en el “mundo real” bajo las condiciones locales esperadas y el uso previsto? Siempre se recomienda hacer una investigación de debida diligencia.

| Opciones de sistemas de pretratamiento avanzado | | | |
|---|---|---|---|
| **Tipo de sistema** | **Parámetros reducidos*,^^** | **Genérico** | **Patentado** |
| **Biofiltro (no saturado)** | | | |
| Filtro de arena de paso | DBO, TSS | X | |
| Filtro de arena | DBO, TSS, NT | X | |
| Perlas de | DBO, TSS, NT | | X |
| Película | DBO, TSS, NT | | X |
| Textil | DBO, TSS, NT | | X |
| Turb | DBO, TSS | | X |
| Fibra de | DBO, TSS, NT | | X |
| Grava/medios | DBO, alta resistencia | X | X |
| **Unidad de tratamiento aeróbico (UTA)** | | | |
| Sin recirculación | DBO, TSS | | X |
| Recirculación | DBO, TSS, NT | | X |
| UTA/película | DBO, TSS, NT | | X |
| **Humedal artificial** | DBO, TSS, NT | X | X |

* La reducción de nitratos/nitrógeno total generalmente requiere recirculación y otros diseños, operaciones, mantenimiento y monitoreo especializados para cumplir consistentemente con los estándares de desempeño deseados.

^^ La reducción significativa de patógenos puede incorporarse al diseño del sistema de pretratamiento avanzado que requiere la adición de un componente de desinfección, generalmente un sistema ultravioleta (UV) patentado o un sistema de cloración en tabletas (y posiblemente un sistema de decloración cuando va seguido de un campo de drenado subterráneo). Una alta reducción de DBO y TSS también es un prerrequisito para lograr una desinfección óptima.

# Apéndice E: Recursos adicionales

Una serie de organizaciones e instituciones trabajan con comunidades pequeñas para satisfacer sus necesidades de agua potable y tratamiento de aguas residuales. Estas son algunas de ellas:

**Rural Community Assistance Partnership (RCAP)** (www.rcap.org)

La Rural Community Assistance Partnership (RCAP) es una red nacional de socios sin fines de lucro que trabajan para brindar asistencia técnica, capacitación, recursos y apoyo a las comunidades rurales en todos los estados, territorios de Estados Unidos y tierras tribales. Consulte la contraportada interior de esta guía para obtener la información de contacto de los seis socios regionales de RCAP. Estas son las organizaciones que coordinan el trabajo de RCAP en su estado y sus comunidades. Puede encontrar un conjunto de recursos de RCAP en el siguiente enlace: https://www.rcap.org/community-resources/.

**American Water Works Association (AWWA)** (www.awwa.org)

Ayuda a las comunidades a proporcionar agua potable segura y trabaja para educar a la población sobre cómo operar y administrar los sistemas de agua potable. Una fuente de información sobre el desarrollo de recursos hídricos, tecnologías de tratamiento de agua y aguas residuales, almacenamiento y distribución de agua, y administración y operaciones de servicios públicos.

Otros recursos de AWWA:

- Página de recursos para sistemas pequeños
- Water-Wastewater Agency Response Network (WARN) Una red de ayuda mutua de empresas de servicios públicos que ayudan a otras empresas de servicios públicos a responder y recuperarse de emergencias.

**Water Professionals International (anteriormente Association of Boards of Certification)** (https://www.gowpi.org/)

Incluye a casi 100 autoridades certificadoras y representa a 49 estados. Estas juntas certifican a operadores de agua y aguas residuales, analistas de laboratorio, tecnólogos de mantenimiento de plantas, aplicadores de biosólidos en tierras y técnicos de pruebas de sistemas de prevención de reflujo.

**National Environmental Health Association (NEHA)** (www.neha.org)

Una organización de miembros dedicada a promover a los profesionales de la salud y la protección ambiental, y trabaja para establecer un estándar de excelencia para el profesional y para la profesión en general.

**Programa de Asistencia Técnica y Capacitación para la Comunidad de los Apalaches (ACTAT) (anteriormente Centro Nacional de Servicios Ambientales)**

Brinda asistencia a comunidades pequeñas y rurales con sus necesidades de agua potable, aguas residuales, capacitación ambiental, resiliencia de infraestructura y administración de servicios públicos, y les ayuda a encontrar soluciones a los problemas que enfrentan. Ofrece asistencia técnica gratuita, materiales de capacitación, publicaciones y productos gratuitos y a bajo costo.

**National Rural Water Association (NRWA)** (www.nrwa.org)

Una organización sin fines de lucro que ayuda a apoyar a los profesionales del tratamiento de aguas residuales y del agua potable mediante capacitación y asistencia técnica, tanto a sistemas miembros como no miembros en los 50 estados.

**National Water Resources Association (NWRA)** (www.nwra.org)

Promueve políticas, leyes y regulaciones federales que fomenten la protección, la administración, el desarrollo y el uso beneficioso de los recursos hídricos que representen los intereses de sus miembros.

**Water Environment Federation (WEF)** (www.wef.org)

WEF es una organización técnica que desarrolla y promueve prácticas y políticas que ayudan a sus miembros a servir al interés público mediante la prestación de servicios eficientes y respetuosos con el medio ambiente en materia de calidad del agua y administración de aguas residuales.

Ofrece a los profesionales educación, capacitación y oportunidades comerciales.

**Instituto de Investigación Prairie de la Universidad de Illinois**
Wateroperator.org y DecentralizedWastewater.org: Una colección de recursos gratuitos para pequeños operadores de sistemas de agua potable y aguas residuales, que incluye un calendario de capacitación y una biblioteca de recursos.

**National Onsite Wastewater Recycling Association (NOWRA)** (www.nowra.org)

NOWRA es la principal organización estadounidense dedicada a promover los sistemas de tratamiento de aguas residuales in situ y descentralizados a través de la educación, la promoción y el apoyo profesional. Consulte sus recursos para propietarios de casas y operadores:

- Recursos sépticos para propietarios de casas

**Water Finance Assistance**
(www.waterfinanceassistance.com/)

Ofrece asistencia técnica y capacitación para mejorar la sostenibilidad de los servicios públicos mediante un enfoque basado en datos.

**Recursos del gobierno federal**

Los principales organismos involucrados en temas de agua y aguas residuales de comunidades pequeñas son los siguientes:

**Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA)**

- Servicio de Utilidades Rurales (RUS)
- Programas de agua y medio ambiente

**Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA)**

- Oficina del Agua
- Desarrollo de pequeños sistemas públicos de agua y capacidad
- Aguas subterráneas y agua potable
- Línea telefónica sobre agua potable segura (800) 426-4791
- Sistemas sépticos
- Conjunto de recursos para lagunas

**Departamento de Salud y Servicios Humanos de los Estados Unidos**

**Servicio Geológico de los Estados Unidos**

# Apéndice F: Glosario



## A

**A:M** Relación alimento/microbios.

**Acometidas sanitarias**: Pequeñas tuberías subterráneas que transportan las aguas residuales de casas y negocios hasta las redes de alcantarillado más grandes que conducen a una planta de tratamiento de aguas residuales.

**Acondicionamiento**: La adición de productos químicos a los lodos para facilitar el proceso de deshidratación. Entre los productos químicos acondicionadores se incluyen el alumbre, la cal, el cloruro férrico y los polímeros orgánicos sintéticos.

**Aeróbico**: Una condición en la que hay oxígeno libre presente.

**Afluente**: Agua, aguas residuales u otro líquido que fluye hacia un embalse, cuenca o planta de tratamiento, o una unidad de la planta de tratamiento.

**Aguas grises**: Aguas residuales domésticas compuestas por el agua de lavado de fregaderos, duchas y lavadoras. No incluye las aguas residuales del inodoro.

**Aguas negras**: Aguas residuales domésticas que transportan desechos humanos. Con frecuencia se utiliza como sinónimo de agua del inodoro; sin embargo, algunos estados incluyen los residuos de alimentos (p. ej., el agua del fregadero de la cocina) en esta categoría.

**Aguas receptoras**: Cuerpos de agua, como ríos, lagos y océanos, que reciben descargas de aguas residuales tratadas o sin tratar.

**Aireación prolongada**: Una variante del proceso de tratamiento de lodos activados con un tiempo de retención prolongado que da como resultado una fuerte competencia por el alimento entre los microorganismos y una escasa producción de lodos.

**Alcalinidad**: La capacidad del agua para neutralizar el ácido. La alcalinidad no es lo mismo que el pH, ya que el agua no tiene que ser fuertemente básica (pH alto) para tener una alcalinidad alta.

**Alcantarillado a presión**: Un sistema de tuberías en el que las aguas residuales se transportan a presión suministrada por bombas.

**Alcantarillado combinado**: Sistema de tuberías que transporta tanto aguas residuales sanitarias como aguas pluviales.

**Alcantarillado con bomba de efluentes de tanques de pozos sépticos (STEP)**: Un tipo de alcantarillado a presión que utiliza un tanque de pozo séptico para eliminar la mayor parte de los sólidos y una bomba para impulsar el efluente líquido a través del alcantarillado. Debido a la escasa cantidad de sólidos en las aguas residuales, se pueden utilizar tuberías muy estrechas.

**Alcantarillado pluvial**: Un sistema separado de tuberías que transportan el agua de lluvia y nieve derretida de edificios, calles y patios hasta las aguas superficiales.

**Alcantarillado por vacío**: Un sistema de alcantarillado alternativo que utiliza el vacío (creado por una estación de vacío central y mantenido en las tuberías) para aspirar y transportar las aguas residuales a través del sistema hasta una unidad de tratamiento final.

**Alcantarillado sanitario**: El sistema de recolección para transportar aguas residuales domésticas e industriales a las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. El agua de lluvia no se canaliza hacia este sistema, sino que se maneja mediante un sistema independiente.

**Algas**: Plantas acuáticas que crecen en aguas iluminadas por el sol y liberan oxígeno en el agua.

**Anaeróbico**: Una condición que carece de oxígeno libre.

**Anóxico**: Una condición sin oxígeno libre, pero con presencia de nitrato.

## B

**Bacterias coliformes**: Bacterias con forma de varilla que viven en el tracto intestinal de los humanos y otros animales de sangre caliente. Las bacterias coliformes se utilizan con frecuencia como indicadores de contaminación fecal y de la posible presencia de microorganismos patógenos.

**Bacterias**: Organismos unicelulares que ayudan a consumir y descomponer los componentes orgánicos de las aguas residuales.

**Biomasa**: Un crecimiento microbiano.

**Biosólidos de clase A**: Biosólidos que cumplen con los criterios de las reglas de la Parte 503, lo que permite su uso en parques, jardines y campos de golf.

**Biosólidos de clase B**: Biosólidos que no cumplen con todos los criterios para clasificarse como biosólidos de clase A. Pueden aplicarse a tierras agrícolas o eliminarse en vertederos.

**Biosólidos**: Sólidos de lodos de aguas residuales tratados que se han estabilizado para destruir los patógenos y que cumplen con estándares rigurosos que permiten su reutilización segura como aditivo para el suelo.

## C

**Cabecera**: La parte de la planta de tratamiento de aguas residuales por donde ingresa el afluente o las aguas residuales sin tratar.

**Campo de drenado**: La parte de un sistema séptico donde el efluente líquido clarificado se dispersa en el suelo para su tratamiento final y eliminación. También conocido como sistema de absorción en suelo o campo de lixiviación.

**Campo de lixiviación**: La parte de un sistema séptico donde el efluente líquido clarificado se dispersa en el suelo para su tratamiento final y eliminación. También conocido como campo de drenado o sistema de absorción en suelo.

**Carga**: La cantidad de material que se agrega a un proceso de una sola vez.

**Clarificador principal**: Un tanque utilizado en el proceso de tratamiento primario que proporciona un entorno no turbulento y permite que los sólidos más pesados se asienten y los materiales flotantes suban a la superficie, donde pueden separarse. También se le conoce como tanque de sedimentación primaria.

**Clarificador secundario**: Un clarificador que sigue a un proceso de tratamiento secundario, diseñado para eliminar por gravedad la materia en suspensión.

**Clarificador**: Elimina los sólidos de las aguas residuales mediante asentamiento por gravedad o por coagulación. También conocido como tanque de asentamiento o tanque de sedimentación.

**Cloración**: El proceso de agregar gas cloro o compuestos de cloro a las aguas residuales para su desinfección.

**Coagulación**: La aglomeración de sólidos para que se asienten más rápidamente en las aguas residuales. La coagulación de sólidos mejora con el uso de productos químicos como la cal, el alumbre, las sales de hierro o los polímeros.

**Coloidal**: Partículas en suspensión en las aguas residuales que son demasiado pequeñas para asentarse fácilmente durante el tratamiento primario.

**Compostaje**: La descomposición biológica natural de materia orgánica en presencia de aire para formar un material estabilizado de consistencia similar al humus.

**Contactor biológico rotativo (RBC)**: Un proceso de tratamiento de aguas residuales con crecimiento adherido que consiste en grandes discos de plástico muy juntos montados sobre un eje horizontal giratorio. Los discos se mueven alternativamente a través de las aguas residuales y el aire, desarrollando un crecimiento biológico en su superficie que elimina la materia orgánica presente en las aguas residuales.

**Cámara de gravilla**: Un pequeño depósito de retención diseñado para permitir el asentamiento de sólidos inorgánicos gruesos y pesados (como arena), al tiempo que permite el paso de los sólidos orgánicos más ligeros a través de la cámara.

## D

**Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)**: Una medición de la materia orgánica en el agua basada en la cantidad de oxígeno consumido en los procesos biológicos que descomponen esta materia orgánica.

**Desinfección ultravioleta (UV)**: Un proceso de desinfección en el que las aguas residuales se exponen a la luz ultravioleta para matar o desactivar posibles patógenos microbianos.

**Desinfección**: La eliminación de microorganismos, incluidos algunos que causan enfermedades.

**Desnitrificación**: La reducción de nitrato a nitrógeno gaseoso que se lleva a cabo en los tanques de tratamiento de aguas residuales por bacterias en condiciones anóxicas. Las bacterias utilizan el nitrato como fuente de energía y, en el proceso, liberan gas nitrógeno. El nitrógeno, un gas componente principal del aire, se libera a la atmósfera.

**Digestión aeróbica**: Un proceso biológico de estabilización de lodos que ocurre en un ambiente

oxigenado Laguna aeróbica: Un estanque de tratamiento de aguas residuales que tiene un poco de oxígeno disuelto presente.

**Digestión anaeróbica**: Un proceso de estabilización de lodos que ocurre en un entorno sin oxígeno.

**E**

**Efluente**: El líquido que sale de una planta de tratamiento una vez que el proceso de tratamiento se completa. También se refiere al líquido procedente de una unidad específica, como el efluente primario (del proceso de tratamiento primario) o el efluente de un tanque de pozo séptico, aunque dicho efluente requiera un tratamiento adicional.

**Eliminación por goteo**: Una forma de dispersión final de aguas residuales tratadas en la que el efluente se aplica al suelo de forma lenta y uniforme a través de una red de tubos estrechos y flexibles colocados en el suelo a poca profundidad. También conocida como riego por goteo.

**Espesamiento**: Cualquier proceso para disminuir el volumen de los lodos mediante la eliminación de una parte de la porción líquida.

**Estabilización**: Cualquier proceso utilizado para producir un producto biosólido final que tenga poco o ningún potencial de descomposición adicional y de generar olores indeseables, y que esté libre de patógenos.

**Eutrofización**: El proceso de envejecimiento lento por el cual un lago se transforma en un pantano o ciénaga, hasta eventualmente desaparecer. Durante la eutrofización, el lago se enriquece con nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo, que favorecen la producción excesiva de algas y otras plantas acuáticas.

**Exotérmico**: Una reacción química que libera energía en forma de calor.

**F**

**Filtración por membrana**: Un proceso de tratamiento de agua y aguas residuales —como la ósmosis inversa, la microfiltración, la ultrafiltración o la nanofiltración— que utiliza membranas de poros finos y presión para eliminar partículas pequeñas del agua.

**Filtro de arena**: Un tipo de unidad alternativa o avanzada de tratamiento de aguas residuales in situ. Consiste en la aplicación intermitente de efluentes de tanques de pozos sépticos a arena que se encuentra dentro de un recipiente, generalmente de 2 o 3 pies de profundidad. El efluente recibe un tratamiento adicional a medida que se filtra a través de la arena y se recolecta en un sistema de drenado subterráneo para su tratamiento adicional o eliminación. Los filtros de arena se clasifican en de paso único (en los que el efluente se aplica al filtro una sola vez) o de recirculación (en los que una parte del líquido recolectado en el drenado inferior se recicla para volver a aplicarse al filtro).

**Filtro de turba**: Un tipo de sistema alternativo o avanzado de tratamiento de aguas residuales in situ. Los filtros de turba consisten en la aplicación de efluentes de tanques de pozos sépticos a fibras de turba alojadas en recipientes impermeables. A medida que el efluente se filtra a través de la turba, los microorganismos adheridos a la superficie de esta proporcionan un tratamiento adicional. Los recipientes incluyen un sistema de drenado inferior que recolecta el líquido tratado, el cual luego se dispersa, generalmente en un sistema de absorción en suelo.

**Floculación**: Un proceso químico mediante el cual se logra que los grumos de sólidos en las aguas residuales aumenten de tamaño.

**Flujo superficial**: Tratamiento de aguas residuales en suelos, que implica la aplicación controlada de aguas residuales sobre pendientes leves cubiertas de hierba con suelos superficiales impermeables. A medida que el agua fluye sobre la superficie del suelo cubierta de hierba, se eliminan los contaminantes y el agua se recolecta en la parte inferior de la pendiente para su reutilización.

**Flóculo**: Grumos de sólidos formados en las aguas residuales por acción biológica o química.

**H**

**Helmintos**: Gusanos redondos o platelmintos parásitos.

**I**

**Infiltración rápida**: Un método de tratamiento final y eliminación de efluentes de aguas residuales mediante la extensión del efluente sobre suelos altamente permeables, como arena y marga.

**Infiltración**: La penetración del agua a través del suelo hacia el subsuelo, o el paso del agua desde el suelo a una tubería, como una alcantarilla.

**Inorgánico**: Compuestos que no contienen carbono de origen vegetal o animal ni carbono orgánico sintético.

**Interceptores**: Grandes tuberías de alcantarillado que recolectan el flujo del alcantarillado principal y colectores más pequeños y lo transportan a la planta de tratamiento.

## L

**Laguna**: Un estanque (generalmente construido) en el que las algas y las bacterias aeróbicas y anaeróbicas purifican las aguas residuales.

**Lagunas anaeróbicas**: Lagunas de tratamiento de aguas residuales que no tienen contenido de oxígeno disuelto.

**Lagunas facultativas**: Una laguna de tratamiento de aguas residuales que contiene algunas áreas donde hay oxígeno disuelto y otras donde no lo hay.

**Lecho de secado de lodos**: Un lecho de arena artificial utilizado para deshidratar lodos. Se utiliza un sistema de drenado subterráneo para recolectar el agua separada.

**Ley de Agua Limpia**: Tiene como objetivo restaurar y mantener la "integridad química, física y biológica del agua del país". Es la principal ley federal que regula las instalaciones, incluidas las plantas de tratamiento de aguas residuales que vierten aguas residuales en aguas superficiales.

**Licor mixto**: Lodos activados mezclados con aguas residuales en un proceso de tratamiento de lodos activados.

**Lodos activados**: Partículas de lodo producidas en las aguas residuales por el crecimiento de organismos en los tanques de aireación. El término "activado" proviene del hecho de que las partículas están repletas de bacterias, hongos y protozoos. Los lodos activados se diferencian de los lodos primarios en que las partículas de lodo contienen muchos organismos que se alimentan de las aguas residuales entrantes.

**Lodos primarios**: Lodos producidos en el proceso de tratamiento primario de aguas residuales.

**Lodos secundarios**: Lodos producidos durante el proceso de tratamiento secundario.

**Lodos**: Sólidos que se asientan durante un proceso de tratamiento.

## M

**Macerador**: Un dispositivo para capturar y triturar materia sólida pesada en la cabecera de una planta de tratamiento de aguas residuales.

**Materia orgánica**: Compuestos que contienen carbono. El término suele referirse a compuestos presentes en plantas, animales y desechos; sin embargo, también existen compuestos orgánicos artificiales.

## N

**Nitrificación**: La oxidación bioquímica del amonio a nitrato.

**Nutrientes**: Elementos o compuestos esenciales como materias primas para el crecimiento y desarrollo de plantas y animales.

## O

**Organismos indicadores**: Microorganismos cuya presencia en una muestra de agua indica la presencia de contaminación fecal y posiblemente de microorganismos patógenos.

**Oxígeno disuelto**: La cantidad de oxígeno libre en solución en el agua o en el efluente de aguas residuales. Para que los peces y otros organismos acuáticos puedan vivir y para prevenir olores desagradables, es necesario mantener concentraciones adecuadas de oxígeno disuelto.

**Ozonización**: Un proceso de desinfección en el que se genera ozono y se agrega al efluente de aguas residuales para eliminar los organismos patógenos.

## P

**Patógenos**: Microorganismos causantes de enfermedades, incluyendo ciertas bacterias, virus, helmintos y protozoos.

**Permeabilidad**: Una medición de la facilidad con la que el agua penetra o atraviesa el suelo.

**Prensa de filtro de banda**: Un dispositivo para deshidratar lodos que utiliza dos cintas textiles para extraer el agua de los lodos.

**Proceso de crecimiento adherido**: Un proceso de tratamiento de aguas residuales en el que los microorganismos que proporcionan el tratamiento están adheridos a una superficie inerte, como roca o plástico. También se le conoce como proceso de película fija.

**Proceso de crecimiento en suspensión**: Un proceso de tratamiento de aguas residuales en el que los microorganismos que proporcionan el tratamiento se mantienen en suspensión en las aguas residuales.

**Proceso de lodos activados**: Un proceso biológico de tratamiento de aguas residuales que acelera la descomposición de los desechos. Se agregan lodos activados a las aguas residuales y la mezcla se airea y agita. Tras un tiempo, los lodos activados se asientan por sedimentación y se eliminan o devuelven al tanque de aireación para su reutilización.

**Protozoos**: Un grupo de microorganismos unicelulares (generalmente más grandes que las bacterias), algunos de los cuales se alimentan de bacterias y otros son patógenos.

**Prueba de frasco**: Un procedimiento de laboratorio que simula a pequeña escala lo que ocurre en la planta. Puede utilizarse para obtener información sobre el asentamiento de lodos o para optimizar la dosificación de productos químicos o los tiempos de asentamiento.

**Purgado**: Eliminación del exceso de microorganismos de un sistema de tratamiento secundario.

## R

**Reactor secuencial por lotes (SBR)**: Una variante del proceso de lodos activados en la que todos los procesos de tratamiento ocurren en un único tanque que se llena con aguas residuales y se vacía para su descarga cuando el tratamiento se completa.

**Reglas de la Parte 503**: Reglas federales establecidas en 1993 por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos que abordan cómo se pueden aplicar los biosólidos de aguas residuales a la tierra, cómo se pueden eliminar, cómo se deben estabilizar y cuáles son los requisitos para las incineradoras que queman biosólidos.

**Residuos sépticos**: Los sólidos residuales en tanques de pozos sépticos u otros sistemas de tratamiento de aguas residuales in situ que deben retirarse periódicamente para su eliminación.

## S

**Sistema alternativo**: Un sistema de tratamiento o recolección de aguas residuales que se utiliza en lugar de un sistema convencional.

**Sistema de absorción en suelo (SAS)**: La parte de un sistema séptico en la que el efluente líquido clarificado se dispersa en el suelo para su tratamiento final y eliminación. El SAS, también conocido como campo de drenado o campo de lixiviación, generalmente se compone de una serie de zanjas o un lecho revestido de grava o arena gruesa. El efluente se dispersa a través de una red de tuberías perforadas o mosaicos de drenado.

**Sistema de montículos**: Un sistema de eliminación de efluentes que consiste en un montículo de arena construido sobre la superficie original del terreno hacia la cual se distribuyen los efluentes.

**Sistema de película fija**: Un proceso de tratamiento de aguas residuales en el que los microorganismos que proporcionan el tratamiento están adheridos a una superficie o medio inerte, como roca o plástico. También se le conoce como proceso de crecimiento adherido.

**Sistema en clúster**: Un sistema de tratamiento de aguas residuales que utiliza tanques de pozos sépticos en casas individuales para eliminar los sólidos, así como alcantarillado de diámetro pequeño para transportar el efluente líquido a un área central para su tratamiento adicional o eliminación. Esto se suele lograr mediante un sistema comunitario de absorción en suelo

**Sistema Nacional de Eliminación de Descargas de Contaminantes (NPDES)**: Un programa establecido por la Ley de Agua Limpia que requiere que todas las descargas de aguas residuales en aguas de Estados Unidos obtengan un permiso emitido por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos o un organismo estatal autorizado por la EPA.

**Sistema séptico convencional**: Un sistema séptico con un tanque de pozo séptico estándar y un sistema de absorción en suelo en el que el flujo de aguas residuales se mueve por gravedad.

**Sistema séptico**: Un sistema de aguas residuales diseñado principalmente para viviendas individuales. Utiliza un tanque de pozo séptico para la sedimentación, la digestión y el almacenamiento de lodos, y un sistema de absorción en suelo o campo de drenado para el tratamiento final y eliminación del efluente líquido.

**Subproductos de la desinfección (SPD)**: Compuestos que se forman durante el proceso de desinfección del agua o de las aguas residuales

mediante la reacción química de los desinfectantes y la materia orgánica. Muchos SPD se consideran perjudiciales para la vida acuática y la salud humana.

**Sólidos asentables**: Sólidos que son más pesados que el agua y se asientan en el fondo del agua por gravedad.

**Sólidos en suspensión en licor mixto (MLSS)**: Los sólidos en suspensión en la mezcla de lodos activados y aguas residuales que se someten a aireación en un proceso de tratamiento de lodos activados.

**Sólidos en suspensión**: Las pequeñas partículas suspendidas en el agua o en las aguas residuales.

## T

**Tanque de pozo séptico**: Uno de los componentes principales de un sistema séptico en el que se permite que los sólidos más pesados se asienten y los materiales más ligeros formen una capa flotante. La salida está configurada de tal manera que solo el líquido relativamente clarificado fluye hacia el campo de drenado o el sistema de absorción en suelo para su tratamiento final y eliminación.

**Tiempo de retención de sólidos (TRS)**: El tiempo promedio que el lodo permanece en un proceso de tratamiento de lodos activados. Es una parte fundamental del proceso de tratamiento que un operador supervisa, ya que determina la eficacia del proceso.

**Total de sólidos disueltos (TDS)**: Una medición de la materia disuelta en una muestra de agua o aguas residuales. Se obtiene haciendo pasar la muestra a través de un filtro, evaporando el agua y pesando el residuo seco del material que ha pasado a través del filtro. Los TDS incluyen un poco de materia coloidal lo suficientemente pequeña para pasar a través del filtro.

**Total de sólidos en suspensión (TSS)**: Una medición de la materia en suspensión en una muestra de agua o aguas residuales. Se mide haciendo pasar la muestra a través de un filtro, evaporando el agua y pesando el residuo seco retenido en la superficie del filtro. Filtro de goteo: Un proceso de crecimiento adherido que implica un tanque, generalmente lleno con un lecho de rocas, piedras o material sintético, para favorecer el crecimiento bacteriano utilizado para tratar aguas residuales.

**Tratamiento de aguas residuales centralizado**: Tratamiento mediante el cual las aguas residuales son transportadas por una red de alcantarillado hasta una planta de tratamiento central.

**Tratamiento de aguas residuales descentralizado**: Proceso en el que el tratamiento de aguas residuales se lleva a cabo cerca del lugar donde se generaron. Suele referirse a alguna variante de un sistema séptico que da servicio a una casa individual, un negocio o un pequeño grupo de viviendas.

**Tratamiento primario**: La etapa inicial del tratamiento de aguas residuales que elimina el material flotante y el material que se asienta fácilmente.

**Tratamiento secundario**: La etapa del tratamiento de aguas residuales en la que las bacterias consumen la materia orgánica presente en las aguas residuales. Las regulaciones federales definen el tratamiento secundario como el cumplimiento de los estándares mínimos de eliminación de DBO, TSS y pH en los efluentes descargados de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales.

**Tratamiento terciario**: Cualquier proceso físico, químico o biológico de tratamiento de aguas residuales que se utilice para mejorar la calidad del efluente secundario.

## U

**Unidad de tratamiento aeróbico (UTA)**: Unidades prefabricadas que proporcionan tratamiento de aguas residuales mediante la inyección de aire en un tanque, lo que permite que las bacterias aeróbicas descompongan la materia orgánica. Se utiliza generalmente para el tratamiento de aguas residuales in situ o descentralizado.

## V

**Vector**: Un insecto o cualquier portador vivo (aves, ratas) que transmita un agente infeccioso.

**Voluminoso**: De gran volumen o tamaño.

## Z

**Zanja de oxidación**: Una variante del proceso de tratamiento de lodos activados que se lleva a cabo en un canal ovalado con aireación proporcionada por diversos tipos de dispositivos mecánicos que se mueven alrededor del canal.




**RURAL COMMUNITY ASSISTANCE PARTNERSHIP**

1725 I St. NW, #225

Washington, DC 20006

contactus@rcap.org

***www.rcap.org***