

CARTILLA 2

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES POTENCIALES



TRATAMIENTO



PERÚ Ministerio
de Agricultura y Riego



EL PERÚ PRIMERO



Al servicio
de las personas
y las naciones

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y RIEGO

VICEMINISTERIO DE INFRAESTRUCTURA AGRARIA Y RIEGO

Ministro de Agricultura

Gustavo Eduardo Mostajo Ocola

Viceministro de Políticas Agrarias

William Alberto Arteaga Donayre

Viceministro de Desarrollo e Infraestructura Agraria y Riego

Pablo Edgar Aranibar Osorio

Jefe de la Autoridad Nacional del Agua

Ing. Walter Obando Licera

Dirección de Planificación y Desarrollo de Recursos Hídricos

Ing. Carlos Antonio Perleche Fuentes

Proyecto GIRHT ANA-SENAGUA-GEF/PNUD

Proyecto "Gestión Integrada de Recursos Hídricos en Cuencas y Acuíferos Transfronterizos Puyango-Tumbes, Catamayo-Chira y Zarumilla".

Calle Francisco Navarrete N° 111 -3er piso – Tumbes

Coordinador Nacional del Proyecto GIRHT

Ing. Néstor Fuertes Escudero

Equipo de Revisión/ Seguimiento

- * Ing. Hanny Quispe Guzmán
- * Ing. Antonio Tamariz Ortiz
- * Ing. José Luis Serna Farfán
- * Bach. Luiggi Ballardó Evangelista
- * Bach. Lourdes Laos Barrera
- * Lic. Adriana Lalich Li
- * Lic. Rolando Sosa Alzamora
- * Lic. Lisett Trelles Alburquerque

4

INTRODUCCIÓN

6

AGUAS RESIDUALES Y SU TRATAMIENTO

Cartilla N° 02

Tratamiento de Aguas Residuales para la Remoción de Contaminantes Potenciales

Esta publicación ha sido posible gracias al Fondo por el Medio Ambiente Mundial (GEF) y el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Editor:

©Autoridad Nacional del Agua. Calle Diecisiete N° 355
Urb. El Palomar, San Isidro, Lima.
Telf. 01-226 0647 - Anexo 2400.
www.ana.gob.pe

Contenidos y Diseño: Caramba Comunicación Visual S.A.C.
Lima. Telf: 92722139

Tiraje: 1000 ejemplares.
Primera edición: Setiembre 2018

Se terminó de imprimir en Noviembre de 2018 por:

ARAL Editores E. I. R. L.,
R. U. C. 2039895313
Calle Juan José Farfán N° 326
Sullana - Piura.

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú
N° 2018-14152

Se autoriza la reproducción parcial o total siempre y cuando se mencione la fuente.

Distribución gratuita. Prohibida su venta.

8

*CARACTERIZACIÓN
DE LOS EFLUENTES*

10

*CRITERIOS PARA
DISEÑAR UNA PLANTA
DE TRATAMIENTO*

ÍNDICE

12

*NIVELES DE
TRATAMIENTO
SEGÚN USO
REQUERIDO*

14

PRE-TRATAMIENTO

18

*TRATAMIENTO
PRIMARIO*

22

*TRATAMIENTO
SECUNDARIO*

26

*TRATAMIENTO
TERCIARIO*

30

*MANEJO Y
TRATAMIENTO
DE LODOS*

32

*OPERACIÓN Y
MANTENIMIENTO*

34

*COSTOS DE
OPERACIÓN*

38

MARCO LEGAL

39

BIBLIOGRAFÍA

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

UNA PRÁCTICA NECESARIA PARA CUIDAR LA SALUD PÚBLICA Y EL MEDIO AMBIENTE

Para proteger la salud de la población y elevar la eficiencia en el manejo del agua, debemos tratar los efluentes en plantas especializadas. De ese modo dichas aguas estarán en condiciones de ser reutilizadas. En esta cartilla buscamos destacar la importancia de un adecuado tratamiento de las aguas residuales; para lo cual explicaremos la forma en que este debe llevarse a cabo.

Empezaremos describiendo las características de las aguas residuales de origen doméstico e industrial. Luego explicaremos los cuatro niveles de tratamiento de aguas residuales: el pretratamiento, el tratamiento primario, el secundario y el terciario. Presentaremos los principales procesos y tecnologías que se emplean para cada nivel. También expondremos los criterios básicos para el diseño de las plantas de tratamiento y los lineamientos que deben tomarse en cuenta para su operación, mantenimiento y gestión.

Esta publicación está orientada a fortalecer las capacidades de las organizaciones de usuarios de agua, operadores, gobiernos locales y de las instituciones vinculadas a la gestión del agua en las cuencas transfronterizas, cuyos especialistas tienen que realizar tareas de capacitación en gestión integrada de los recursos hídricos (GIRH) y cultura del agua en las cuencas transfronterizas.

El tratamiento de las aguas residuales permite optimizar el uso de los recursos hídricos y velar por la calidad de las fuentes naturales de agua en las Cuencas Transfronterizas.





AGUAS RESIDUALES Y SU TRATAMIENTO



Desechos fisiológicos, sustancias químicas, grasas y sólidos en suspensión son algunos de los contaminantes que contienen las aguas residuales. Su contenido y sus impactos dependen de su origen.

6

Las aguas residuales son aquellas aguas que han sido modificadas por las actividades humanas. Por lo mismo, presentan concentraciones de diversos elementos y compuestos que pueden afectar la calidad de los ecosistemas y la salud de las personas.

Debido a que sus características originales fueron alteradas, requieren de un tratamiento que las haga más seguras antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua, como quebradas, ríos o acuíferos; o descargadas al sistema de alcantarillado.



DOMÉSTICA

Es el agua residual que proviene del uso poblacional. Contiene desechos fisiológicos resultado de la actividad humana.



Cuenta con una gran cantidad de contaminantes orgánicos y microbiológicos.



INDUSTRIAL

Es el resultado de cualquier actividad industrial en cuyo proceso se utiliza el agua. Contiene desde compuestos biológicos hasta compuestos inorgánicos.



Está compuesta de líquidos residuales, aguas de proceso y aguas de drenaje.



Es imprescindible tratar esta agua residual antes de verterla de nuevo a la naturaleza, debido a su **poder contaminante**, el cual varía según la **concentración de sus compuestos**.

Las aguas industriales incluyen:

LÍQUIDOS RESIDUALES

Son **sobrantes de las sustancias químicas** empleadas en la fabricación de productos. Generan mayor impacto.

AGUAS DE PROCESO

Resultado del agua usada para transporte, lavado o refrigeración directa. Su nivel de contaminación es menor a la residual pero su cantidad puede ser **50 veces mayor**.

AGUAS DE DRENAJE

Corresponden principalmente al drenaje pluvial y provienen del almacenamiento y derrames de productos al aire libre. Su contaminación suele ser muy baja.

Las aguas residuales domésticas **sin tratamiento contaminan con bacterias y coliformes** los ríos y quebradas de las cuencas transfronterizas.

CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES

Para poner en marcha un sistema de tratamiento de aguas residuales, el primer paso es conocer con mayor detalle el problema que queremos remediar. En otras palabras, debemos averiguar cuáles son las características específicas de las aguas residuales que queremos tratar.

Caudales

Esta tarea implica evaluar los caudales de dichos efluentes; es decir, determinar cuál es el volumen de aguas residuales que requiere tratamiento. Hay que tomar en cuenta que los caudales pueden variar en diferentes días e incluso en distintos momentos de la jornada. Además, pueden presentarse variaciones en función del origen de los efluentes. Esto último sucede especialmente con las aguas residuales industriales.

Ante esta situación se recomienda realizar una medición de los caudales cada una de las 24 horas del día durante siete días. Ello permitirá calcular promedios, además de los valores mínimos y máximos.

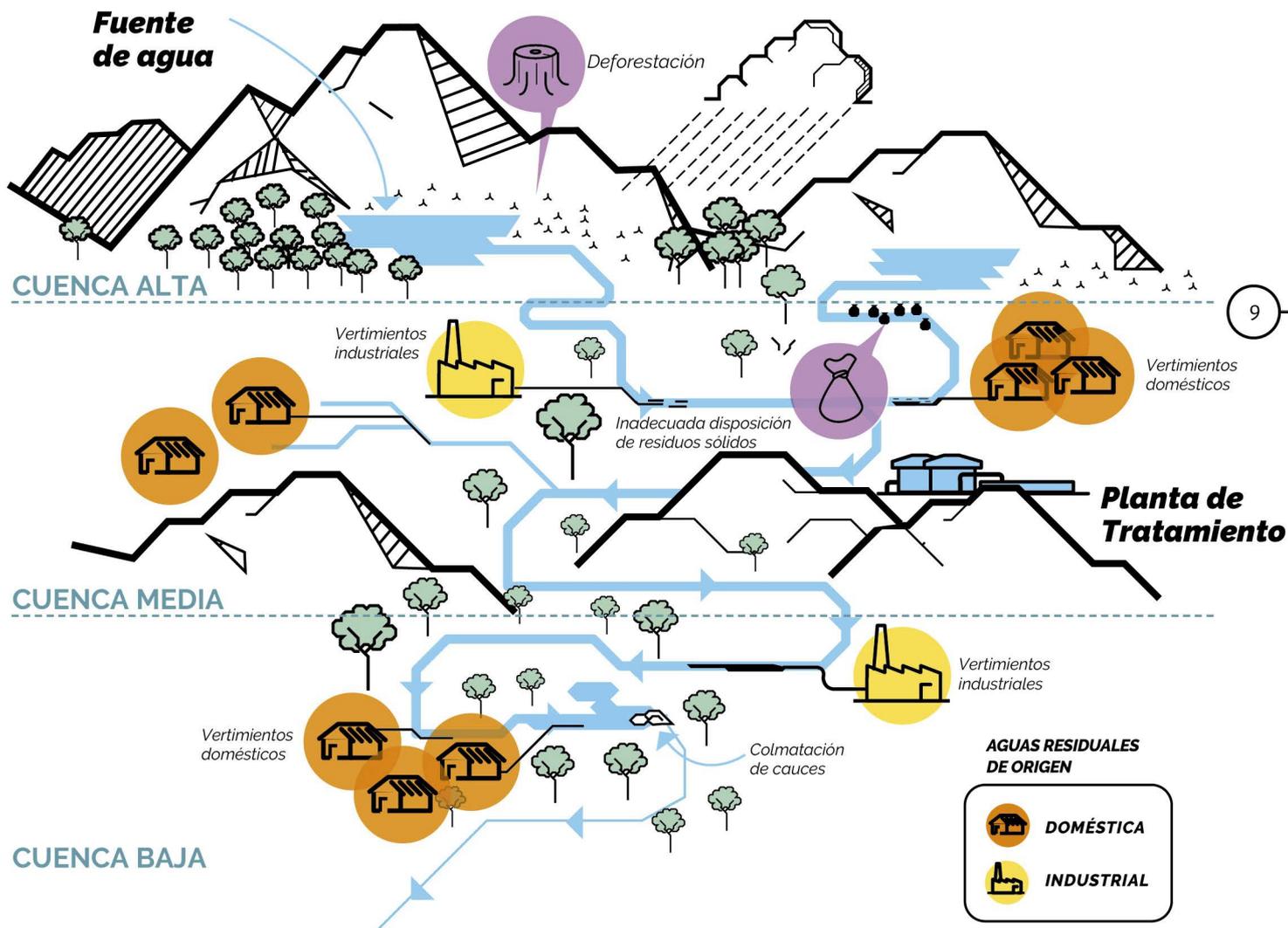
Diseñar un **sistema de tratamiento adecuado** requiere precisar las características de las aguas residuales.

Composición

Las aguas residuales están llenas de contaminantes. Evaluar su composición específica exige un programa de muestreo apropiado para asegurar la representatividad de la muestra y un análisis de laboratorio conforme al reglamento vigente.

Para determinar con precisión la composición química del agua residual se realizan análisis cuantitativos. Para conocer las características físicas y biológicas de los efluentes se realizan análisis cualitativos. Estos diversos parámetros interactúan entre sí y afectan la calidad de los efluentes.

→ Lo que ocurre en la parte alta de la cuenca **condiciona** las necesidades de **tratamiento** en la cuenca media y baja.



CRITERIOS PARA DISEÑAR UNA PLANTA DE TRATAMIENTO

Un proyecto tan importante para la calidad de vida de la población y la protección de los ecosistemas debe ser planeado con cuidado. **¿Qué recomendaciones deben tomarse en cuenta?**

10

1 **EVALUAR EL ENTORNO**



¿Qué facilidades y desafíos plantea la localidad para la construcción de la planta de tratamiento? Responder esta pregunta pasa por verificar la disponibilidad de terrenos apropiados para el proyecto. Hay que considerar que las normas técnicas establecen criterios para la ubicación de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) respecto a los centros urbanos.

La dimensión de la infraestructura dependerá de la complejidad de las operaciones y de la tecnología de tratamiento. Para las aguas residuales domésticas de una comunidad de 500 personas, podría ser suficiente una planta de 250 o 300 m². El tamaño de la población se vincula al volumen de las descargas. Se debe calcular el tamaño de la "población servida", en la que se suma la población actual y su crecimiento esperado.

2 **EVALUAR LOS RECURSOS**



¿Se cuenta con los recursos necesarios, no solo para levantar la planta, sino además para mantenerla en funcionamiento? ¿Existe mano de obra calificada?, ¿Se han considerado los costos de operación y mantenimiento?, ¿Quiénes se encargarán de operar la planta?.

En el caso de plantas de gran envergadura, será necesario contar con un especialista. Para operaciones más sencillas, se podrá recurrir a personal técnico siempre y cuando se le brinde la capacitación adecuada.

3 TENER CLARO LOS OBJETIVOS



El propósito de las PTAR es remover del agua elementos indeseables; corregir las propiedades físico-químicas y biológicas que se hayan alterado hasta cumplir con los límites máximos permisibles (LMP) para los efluentes.

Entre las características del agua (parámetros) que se examinan para diseñar una PTAR son generalmente la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), los sólidos en suspensión, los coliformes fecales (bacterias) y los nutrientes. La DBO es la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para estabilizar la materia orgánica bajo ciertas condiciones. De la medida en que haga falta corregir estos y otros parámetros, dependerán las tecnologías que deban emplearse.

4 SEGUIR LAS INDICACIONES TÉCNICAS



Es fundamental aplicar las orientaciones de los especialistas para el diseño de la PTAR. Para que la planta opere de forma óptima, se recomienda que tenga dos conjuntos de equipos (baterías), capaces de ejecutar en simultáneo la misma tarea. El diseño debe permitir sacar de operación alguna de las unidades para su mantenimiento sin afectar el funcionamiento de la planta completa.

Otra precisión importante tiene que ver con el **drenaje pluvial**. En lugares lluviosos, las precipitaciones pueden ingresar al alcantarillado y elevar hasta en 300% los caudales. Por eso, en el Perú la norma **OS.090** dispone que las PTAR cuenten con un sistema de rebose para evitar que los caudales sobrepasen el nivel máximo fijado en determinados horarios. El agua colectada por el rebose también debe recibir tratamiento.

EFICIENCIAS DE REMOCIÓN

En el 2010, el Ministerio del Ambiente aprobó los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas. Los LMP establecen el grado de concentración que los diferentes parámetros no deben superar a fin de evitar daños a la salud o al ambiente.

Al comparar los LMP con la calidad del agua residual cruda (sin tratamiento) se determina la “eficiencia de remoción” requerida. A partir de ella se seleccionan las tecnologías más apropiadas.

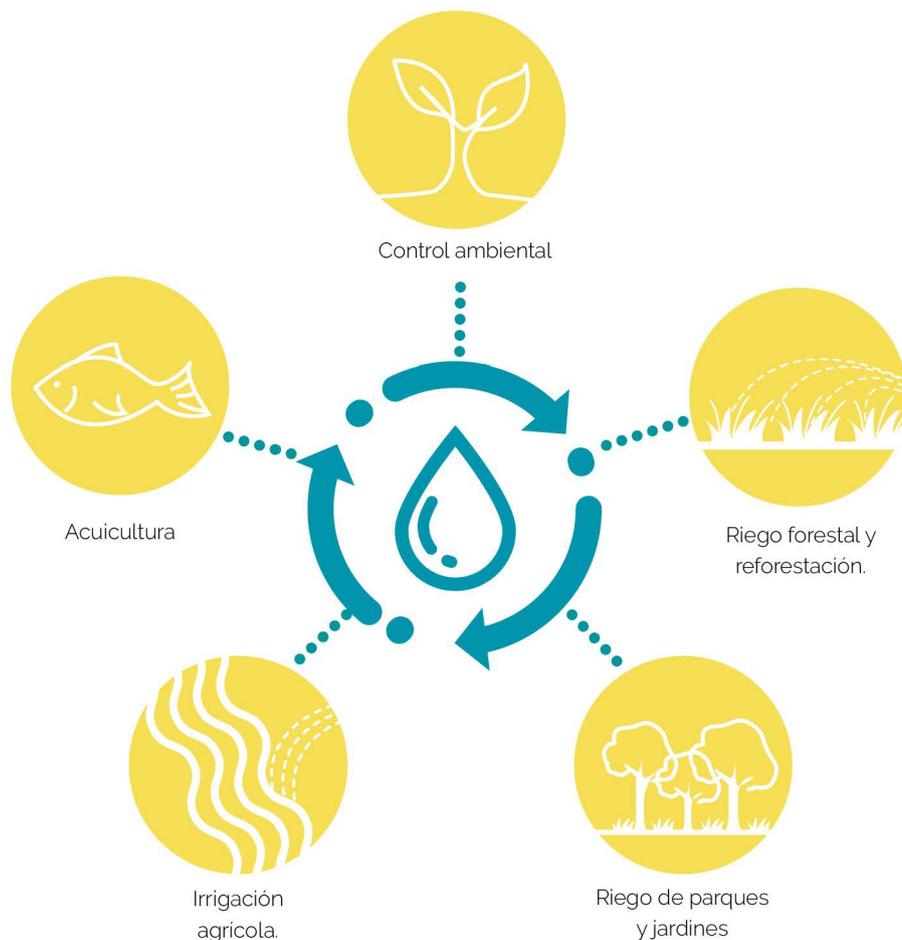
NIVELES DE TRATAMIENTO SEGÚN USO REQUERIDO



Existen cuatro niveles de tratamiento para las aguas residuales:

el pretratamiento, el tratamiento primario, el secundario y el terciario. El nivel se determina por el grado de depuración necesario para el uso que se dará posteriormente al agua. Por ejemplo, el efluente de un sistema de tratamiento primario puede verterse al mar mediante un tubo o emisor submarino, mientras que el reúso agrícola de agua residual requerirá probablemente de un tratamiento terciario o avanzado.

USOS DE LAS AGUAS TRATADAS



PRE- → TRATAMIENTO

Los pre-tratamientos de aguas residuales tienen como finalidad **reducir los sólidos en suspensión o el acondicionamiento de las aguas residuales** para su posterior descarga en los sistemas de tratamiento primario. En esta fase, **se eliminan los residuos de mayor tamaño**, las grasas flotantes, las arenas y los sólidos de mayor grosor.

14



Cribas y rejas

Funciona como un **colador de residuos sólidos**. Los residuos se retiran manual o mecánicamente y se destruyen por incineración, por procesos anaeróbicos o en un vertedero.



Desarenadores

Son cámaras diseñadas para reducir la velocidad del agua residual y para remover los sólidos minerales como arena u otros, por el proceso de sedimentación.



Si se invierte en un buen pretratamiento, se puede mejorar el rendimiento de todo el sistema.



Medidor de caudal

Para medir los caudales en el nivel de pre tratamiento se recomienda el medidor Parshall, el cual se usa para un amplio rango de caudales y fácil medición.



Trampas de grasa y aceites

Estas trampas se instalan dentro o fuera de los establecimientos en los que se suele verter grasas al drenaje como restaurantes, hoteles, hospitales y talleres de mecánica a fin de evitar que ingresen al sistema de alcantarillado. Pero también se emplean en las plantas de tratamiento. Separan las grasas y el aceite del agua aprovechando su diferencia de densidad. Una forma en que funcionan consiste en inyectar burbujas de aire para facilitar que floten.

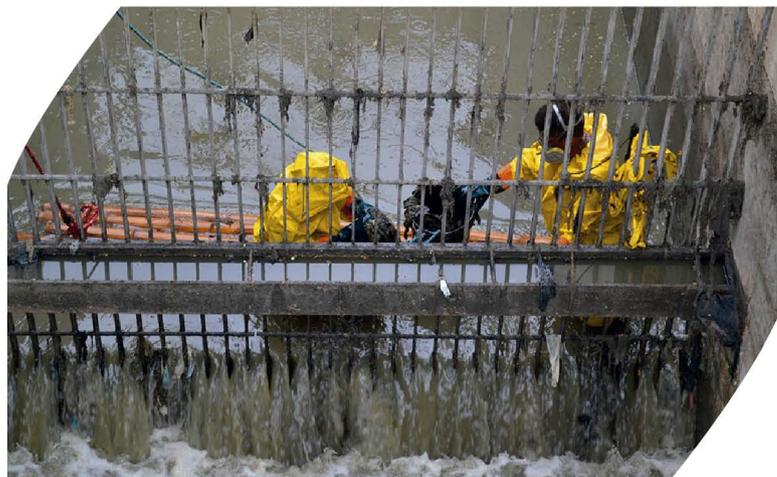
El uso de estas herramientas resulta importante antes de recurrir a sistemas de tratamiento biológicos de aguas residuales porque los aceites y grasas dificultan los procesos aeróbicos, la difusión del oxígeno en el agua y la degradación de la materia orgánica.

→ Retirar botellas, latas y plásticos en el pretratamiento **evita el deterioro de las tuberías** y otros daños a la PTAR.

PROCESO DE HOMOGENIZACIÓN

Las plantas de tratamiento reciben efluentes de diversas características. Parte de la adecuación necesaria consiste en uniformizarlos para depurarlos posteriormente con mayor eficiencia.

En un proceso llamado homogenización, se colectan las aguas residuales para que se mezclen y alcancen una calidad similar en cuanto a nivel de acidez y otros parámetros. Cuando el proceso incluye el control de las variaciones de caudal se habla de ecuación.



Limpieza inicial

El uso de rejas y cribas permite retirar con facilidad los sólidos de mayor tamaño, lo cual evita daños en el sistema. Esto es parte de la etapa de pretratamiento.



El personal de la PTAR debe revisar, según la frecuencia prevista en el Manual de Operación y Mantenimiento de la Planta, las instalaciones para verificar su adecuado funcionamiento.

TRATAMIENTO PRIMARIO →

En esta etapa se deja reposar el agua en estanques. En la superficie, se acumulan residuos flotantes que serán extraídos por suspensión, mientras que en el fondo se acumulan los residuos más pesados como los fangos. Este tipo de tratamiento **elimina parte de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica.**

18



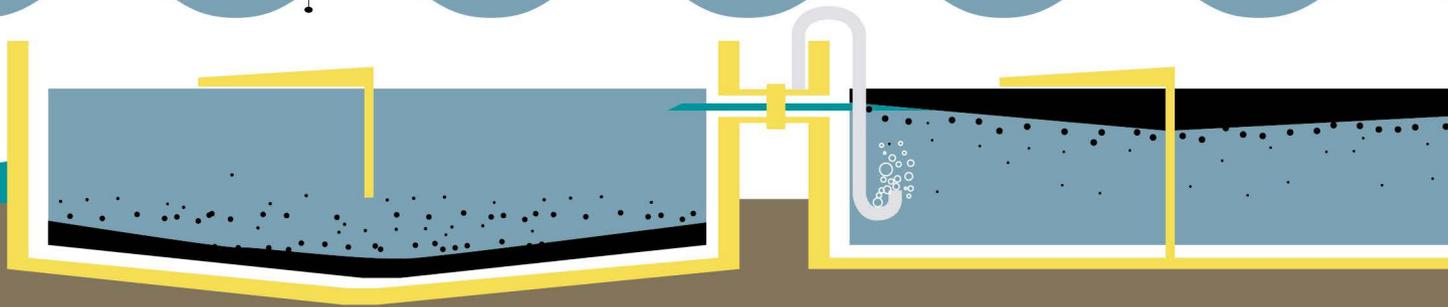
Sedimentadores

Se usan para **separar sólidos en suspensión**. Esta técnica aprovecha la diferencia de pesos entre las partículas y el agua. Las partículas de mayor peso precipitan por acción de la gravedad. Ello permite aclarar los efluentes muy turbios.



Flotación

Sirve para **separar fluidos con densidades distintas** (agua y aceite). El aceite o la grasa es removido del efluente por rebose, el cual es acelerado por un flujo desde el fondo del tanque. Se aplica cuando las concentraciones de aceites y grasas son muy altas por las descargas industriales (carwash, restaurante, camales, mercados, etc.)





Tanques Imhoff

También llamados tanques doble cámara, integran la sedimentación del agua y la digestión de los lodos sedimentados en la misma unidad. Por eso son convenientes para comunidades con 5,000 o menos habitantes. Su operación es muy sencilla, pero requiere que el agua residual haya pasado previamente por el tratamiento preliminar de cribado y remoción de arena.

Los lodos acumulados en el digester son retirados periódicamente y llevados a lechos de secado, donde se reduce la humedad por infiltración.



Coagulación

En este proceso se añaden sustancias químicas a un sistema de agua para formar agregados de elementos que puedan sedimentar rápidamente. Se emplea sobre todo en el tratamiento de aguas residuales de origen industrial.



Tanques sépticos

Se trata de tanques de sedimentación de acción simple. Los lodos sedimentados entran en contacto directo con los efluentes domésticos que ingresan al tanque, mientras las bacterias anaerobias descomponen los sólidos orgánicos.

Estos tanques ayudan a proteger la salud de las personas al permitir una disposición sanitaria de los efluentes domésticos (aguas grises y negras). Pueden ser combinados con otras técnicas como las zanjas de infiltración y las pozas de percolación. Sin embargo, requieren una infraestructura de gran tamaño; por ello, debido a los costos, su aplicación se reduce a pequeñas poblaciones rurales. Otra limitación es que no pueden implementarse si hay una red de alcantarillado preexistente.

El resultado del tratamiento primario suele contener una considerable materia orgánica y una demanda biológica de oxígeno (DBO) alta.

¿QUÉ ES?

Aguas negras:

Aguas residuales contaminadas con materia fecal.

Aguas grises:

Aguas residuales procedentes del lavado, de la higiene personal y de la limpieza doméstica.

Zanjas de infiltración:

Excavación en el terreno para acumular el agua de lluvia.

Percolación:

Goteo o flujo de un líquido que desciende a través de un medio filtrante.



→ El tratamiento de algunos efluentes puede **detenerse en el nivel primario** por su baja contaminación orgánica.

En ciertos casos, las aguas residuales de origen industrial pueden demandar solo la aplicación de un **tratamiento primario**. Esto sucede cuando presenta poca carga orgánica y microbiológica. En esas condiciones puede ser suficiente separar los sólidos en suspensión. El efecto de los sedimentadores podría potenciarse con la técnica de la coagulación química. Una vez más, la decisión depende de las características de los efluentes y de los límites máximos permisibles.



Planta de tratamiento

Los componentes del sistema dependerán de las características y la composición de los efluentes a ser depurados. .



Sedimentador.
Permite remover
parte de los
sólidos en
suspensión.

TRATAMIENTO SECUNDARIO →

En esta fase **se descompone la materia orgánica restante**. El efluente que sale del tratamiento primario pasa por unas balsas pobladas por millones de bacterias de diferente tipo que se alimentan de los restos orgánicos que aún quedan en las aguas residuales. El tratamiento además elimina sólidos en suspensión.

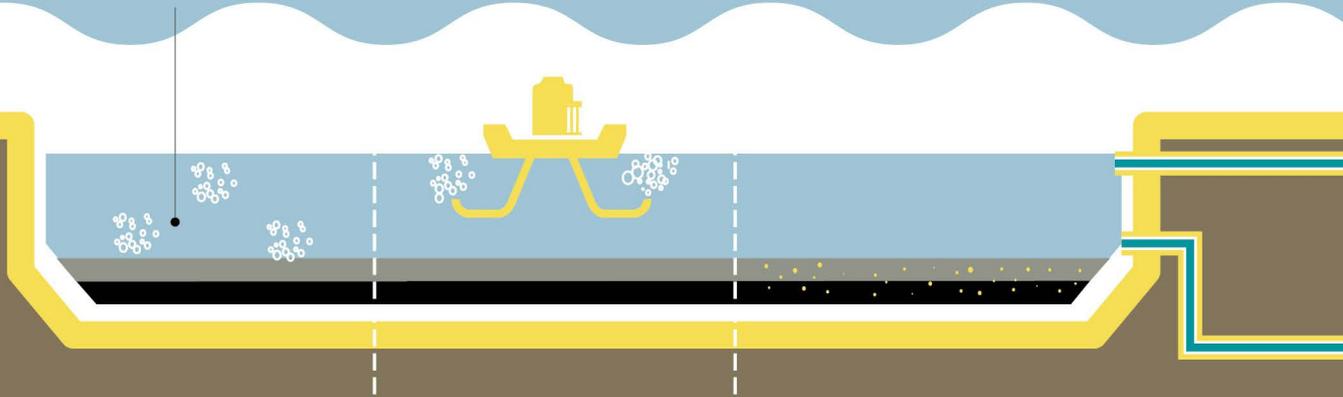
22



Lagunas de estabilización

Permiten remover materia orgánica, carga microbiana y huevos de parásitos. Es el sistema más utilizado en el Perú debido a sus bajos costos de operación y mantenimiento y a su **alta eficiencia en la remoción de materia orgánica**.

Hay tres clases de lagunas de estabilización de acuerdo con la forma en que usan el oxígeno para estabilizar la materia orgánica. Estas son: aerobias, anaerobias y facultativas.

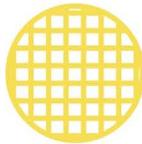


OTROS SISTEMAS DE TRATAMIENTO SECUNDARIO



Lodos activados

Remueven del 60% al 80% de materia orgánica soluble. El lodo activado, compuesto principalmente por biomasa con cierta cantidad de sólidos inorgánicos, degrada la materia orgánica en el aparato llamado reactor biológico. Del sedimentador secundario se obtiene agua clarificada.



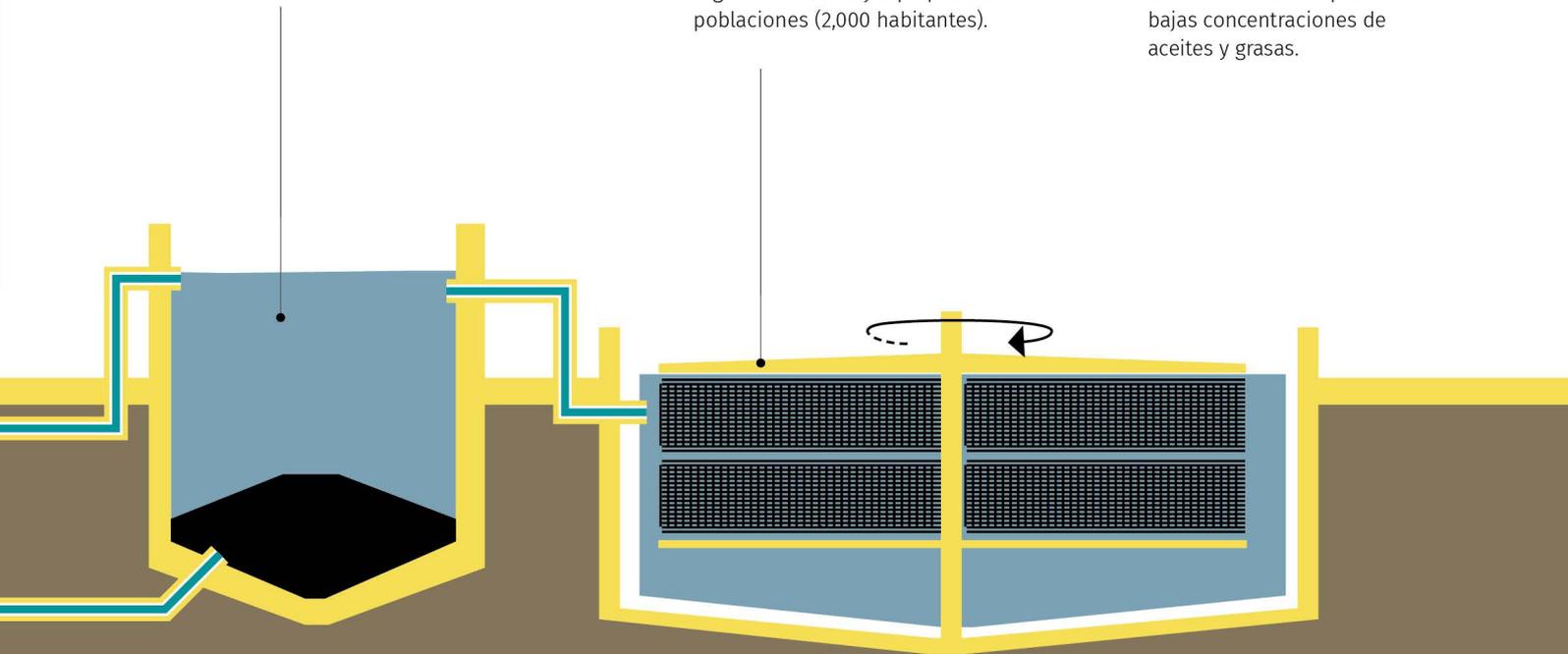
Filtros percoladores

En este sistema se aplica el agua residual sedimentada sobre un medio filtrante de piedra gruesa o de material sintético. En él se cultivan microorganismos encargados de la degradación de la materia orgánica. Con ello se remueve de 40% a 70% de esta. Su aplicación está limitada a cargas orgánicas medias y a pequeñas poblaciones (2,000 habitantes).



Sistemas biológicos rotativos de contacto

Usan discos giratorios como medio de soporte para el cultivo de microorganismos encargados de degradar la materia orgánica. Consigue remover de 70% a 90% de dicha materia. Requiere poca energía y consume escasos recursos en la operación y el mantenimiento. Se aplica cuando el efluente presenta bajas concentraciones de aceites y grasas.



OTROS SISTEMAS DE TRATAMIENTO SECUNDARIO



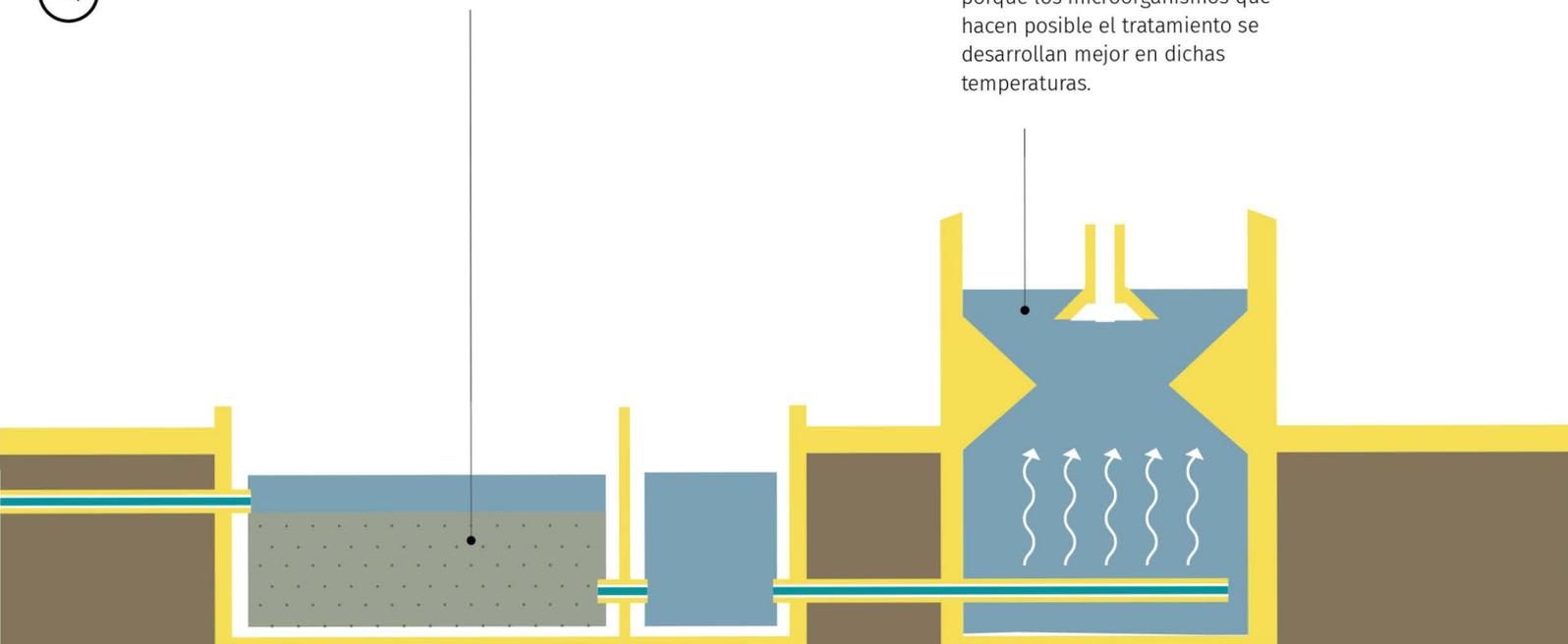
Filtros intermitentes de arena

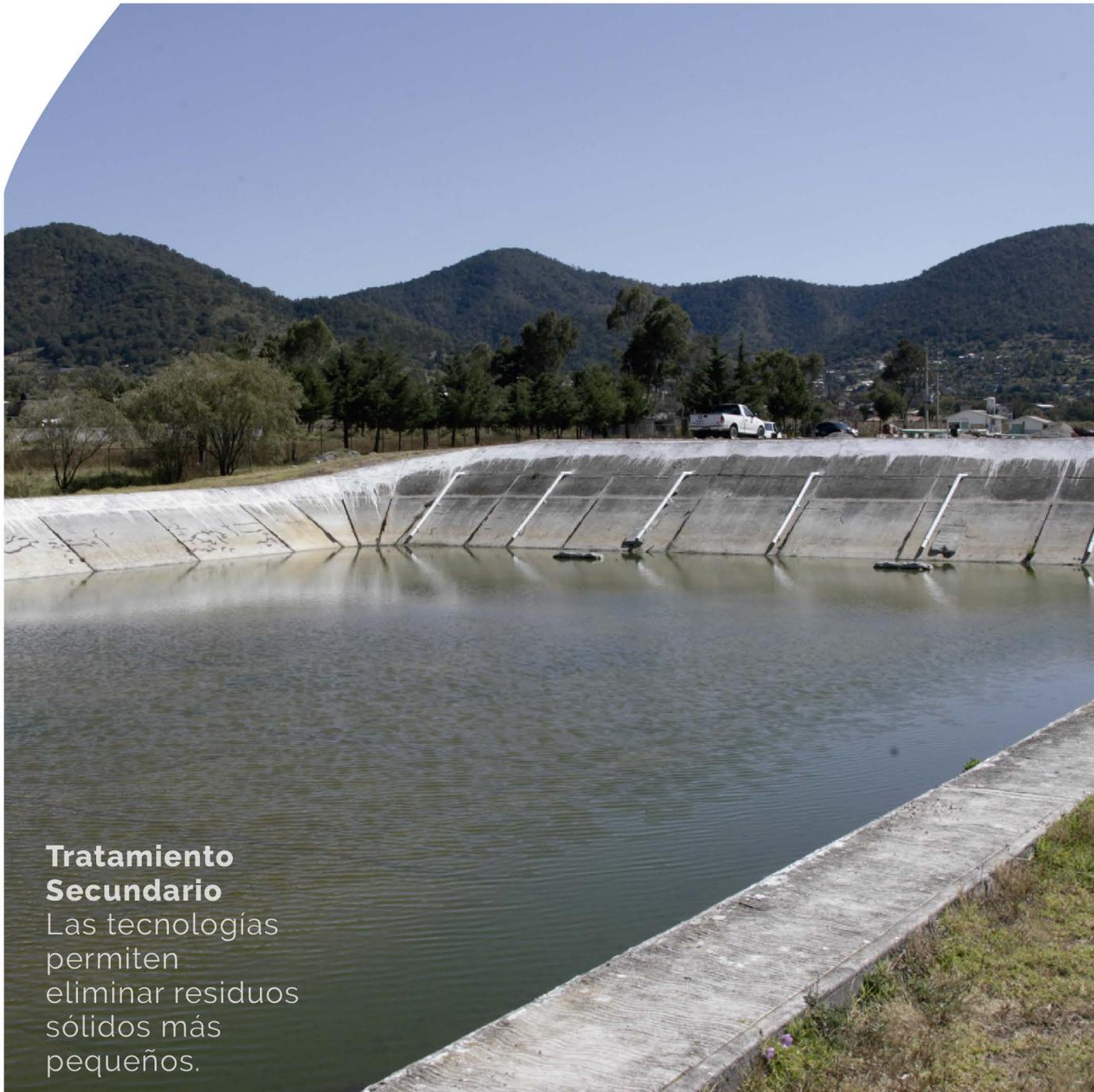
Eliminan sólidos sedimentables totales, materia orgánica y algunos microorganismos. Esta tecnología se aplica cuando los efluentes tienen baja turbiedad, porque de lo contrario los filtros tienden a saturarse rápidamente.



Tratamiento anaerobio de flujo ascendente

En esta tecnología el agua fluye hacia arriba a baja velocidad a través de un manto de lodos. Se caracteriza por realizar las operaciones de decantación primaria, reactor biológico y digestión anaerobia del lodo en una sola unidad. Permite eliminar entre el 40% y 70% de la materia orgánica y remueve partículas sedimentables. No requiere energía eléctrica y es de fácil operación. Se aplica en climas tropicales (12-30 °C), porque los microorganismos que hacen posible el tratamiento se desarrollan mejor en dichas temperaturas.





Tratamiento Secundario

Las tecnologías permiten eliminar residuos sólidos más pequeños.

TRATAMIENTO TERCIARIO

Se trata de un nivel avanzado. Se aplica cuando la reutilización de aguas residuales requiere conseguir un efluente de alta calidad. En el tratamiento terciario **se eliminan sustancias tóxicas y contaminantes específicos**, para lo cual se emplea tecnología como la ósmosis inversa.

26



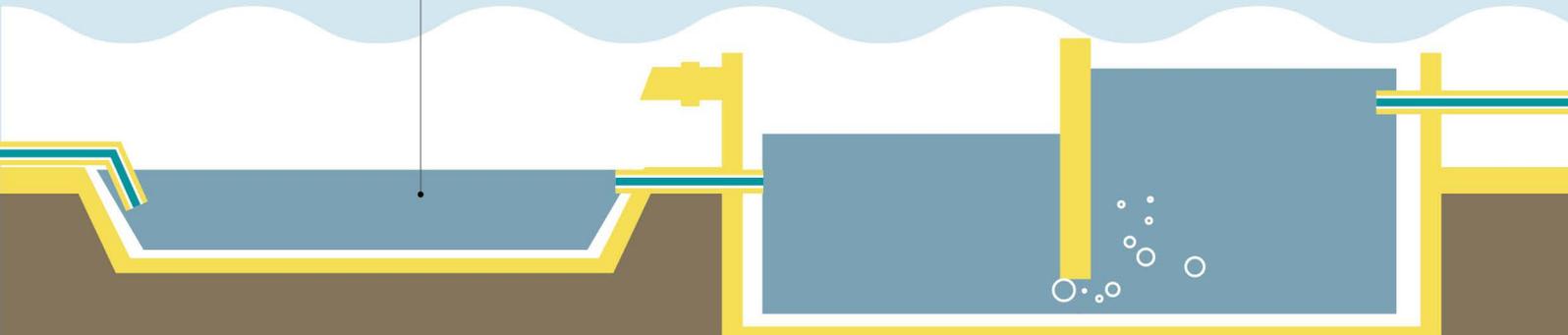
Desinfección

Destruye **microorganismos patógenos** que pudiesen afectar la salud de las personas. Para ello emplea un proceso de oxidación química (cloración u oxidación). La desinfección se requiere cuando el efluente tratado va a estar en contacto directo con la población.



Ósmosis inversa

En este tratamiento, el efluente a depurar se pone en contacto con una membrana adecuada, de modo que el fluido con la menor carga de contaminantes pase a través de ella. Los contaminantes disueltos se concentran en un compartimiento. En el otro queda agua purificada. Esta tecnología es importante porque remueve elementos tóxicos que pudieran acumularse en los seres vivos (cationes de plomo, cadmio, mercurio, etc.)

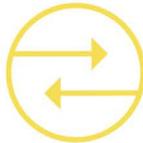


En las zonas rurales, se puede **recurrir a la instalación de humedales artificiales**, que contribuyen a remover materia orgánica por la acción de microorganismos.



Humedales artificiales

Es un sistema pasivo de tratamiento de efluentes. Está constituido por lagunas o canales poco profundos en los que se plantan macrófitos acuáticos. Logran altas eficiencias de remoción de materia orgánica, nitrógeno y fósforo. Además, no requieren de energía eléctrica ni de insumos químicos. Sin embargo, su aplicación está limitada a caudales pequeños (1-5 L/s) y demanda de grandes extensiones de terreno.



Intercambio iónico

En este proceso, se intercambian dos tipos de iones, lo que permite alcanzar la desmineralización completa. Para producir un efluente de una calidad específica -por ejemplo, de una determinada dureza, se puede desmineralizar parte del efluente y combinarla después con otra parte, previamente desviada del tratamiento.



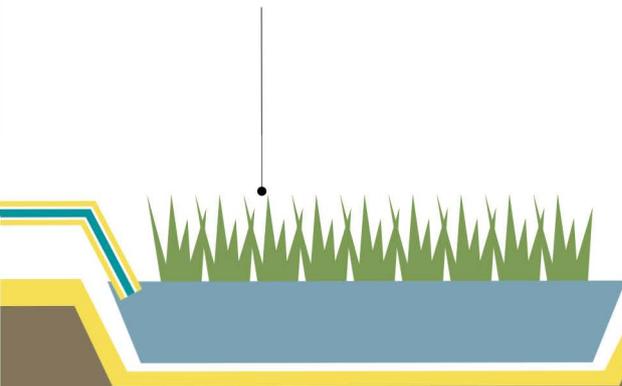
Electrodiálisis

Es un método para eliminar nutrientes inorgánicos como el fósforo y nitrógeno de las aguas residuales. Por ello, puede ser una etapa final en los procesos de tratamiento de efluentes. También se suele usar para desalinizar el agua de mar.



Adsorción

Dicho proceso consiste en remover iones y moléculas presentes en el agua, concentrándolos en la superficie de un medio adsorbente. El propósito es eliminar ciertos olores y sabores con el uso de carbón activado en polvo.



→ En la actualidad están siendo probadas técnicas innovadoras que ofrecen ventajas tanto en el tratamiento terciario como en el secundario.

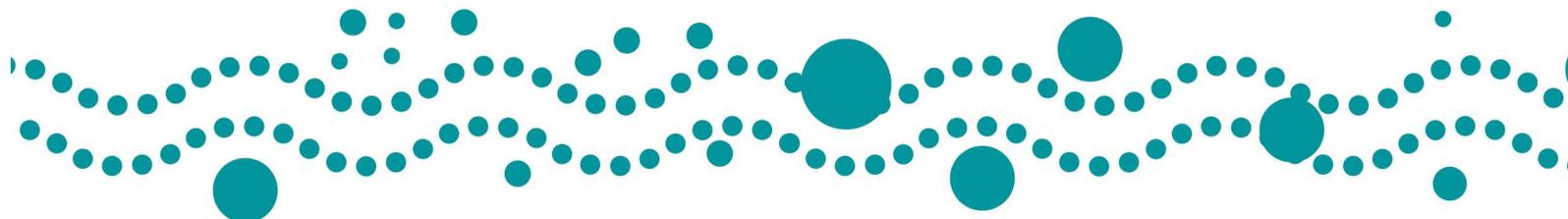
28



Tecnología avanzada

En el tratamiento por ósmosis inversa, el fluido atraviesa membranas especiales. De ese modo se logra remover elementos tóxicos como el cadmio, el plomo y el mercurio.

Los progresos en el uso de membranas permiten técnicas avanzadas como la ósmosis inversa, ya mencionada. En el nivel secundario, se está usando biorreactores de membrana para optimizar el procesamiento de lodos activados. En ambas etapas de tratamiento, **la nanotecnología promete una alta tasa de remoción de contaminantes.**





Humedal artificial

Una de sus ventajas es que no requiere de energía eléctrica.

MANEJO Y TRATAMIENTO DE LODOS



En la mayoría de los procesos de tratamientos primarios y secundarios de aguas residuales, se producen lodos, de los que hay que deshacerse de una forma adecuada. Los lodos que resultan únicamente de los procesos de separación sólido-líquido (decantación o flotación) se conocen como lodos primarios, y los provenientes de procesos biológicos se llaman lodos secundarios.

30

1 Digestión

La fase inicial en el manejo de lodos es la digestión. Consiste en la degradación de la materia orgánica que forma parte del lodo hasta estabilizarla. Hay dos maneras de efectuar esta tarea: la aerobia y la anaerobia.

Aerobia.

Se airea por un periodo significativo de tiempo una mezcla de lodos digeribles, obtenidos del tratamiento primario, con aquel que quedó del tratamiento biológi-

co aerobio. Como resultado, se eliminan microorganismos y disminuyen los sólidos en suspensión volátiles.

Anaerobia

Implica con frecuencia calentar el lodo, sobre todo cuando tiene alta carga orgánica. El lodo se calienta con vapor dentro de un reactor. La temperatura, que normalmente oscila entre 24° y 40°C, favorece la digestión, en la que se genera gas.



2 **Espesamiento**

Para poder evacuar los lodos, hace falta primero espesarlos. El espesamiento puede conseguirse por gravedad o por flotación, para lo cual se usa aire disuelto. El espesado por gravedad se realiza en tanques de sección circular en los que el lodo concentrado se acumula en el fondo.



3 **Secado**

La última etapa es el secado. El procedimiento más usado con este fin se conoce como filtración al vacío. En él, se separan los lodos aplicando vacío a través de un medio poroso que retiene los sólidos y deja pasar el líquido. Para ello pueden usarse tejidos de nylon y dacrón o mallas metálicas.

Otros procedimientos para el secado son la filtración a presión -en la que se emplea una cinta transportadora-, el centrifugado y el lecho de secado. En este, el lodo se seca al aire libre. Dicho método es uno de los más económicos, pero es apropiado solo para ciudades de hasta 20,000 habitantes.

GENERACIÓN DE LODOS



TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE LODOS

DIGESTIÓN AEROBIA	● Lodos activados.	● Sistemas biológicos rotativos de contacto o Biodiscos.	
DIGESTIÓN ANAEROBIA	● Reactor anaerobio de flujo ascendente	● Tanques sépticos	
ESPESAMIENTO	● Lodos activados.	● Tanques sépticos	● Flotación.
FILTRACIÓN A PRESIÓN	● Sedimentadores.	● Tanques sépticos	● Sistemas biológicos rotativos de contacto o Biodiscos.
CENTRIFUGACIÓN	● Lodos activados.		
LECHO DE SECADO	● Lodos activados.	● Lagunas de estabilización	● Sistemas biológicos rotativos de contacto o Biodiscos.

OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Para que la PTAR cumpla su cometido, sus responsables deben seguir minuciosamente una serie de tareas cotidianas establecidas en el **Manual de Operación y Funcionamiento.**

32

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales suelen funcionar inadecuadamente en el Perú por fallas en la operación y por la falta de mantenimiento de los equipos. Estos errores repercuten en la calidad del efluente tratado, lo que significa que los objetivos de remoción planteados originalmente dejan de alcanzarse.

Por ese motivo, es indispensable que los procedimientos operativos requeridos para el funcionamiento de cada unidad del sistema se ejecuten como fueron previstos en el manual de funcionamiento; es decir, de la manera y con la frecuencia establecidos en el manual de la planta.

Estas actividades operativas incluyen, entre otras, la medición y el control de los caudales, la medición de la turbiedad y el monitoreo de la calidad del agua que sale de la planta.

Como puede verse, las tareas se orientan a vigilar la eficiencia del sistema de tratamiento. De ese modo se pueden evacuar de forma oportuna los sedimentos acumulados y evitar daños en el sistema de tratamiento y tuberías.

Además, los procedimientos permiten asegurar que los parámetros de operación se mantengan dentro de los rangos permitidos.

De la misma forma, al diseñarse un sistema de tratamiento de aguas residuales se establecen prácticas de mantenimiento preventivo (a fin de evitar mal funcionamiento de algún elemento), y de mantenimiento correctivo (cuando se detecta una falla en el sistema). Cumplir con las verificaciones periódicas y con las labores de mantenimiento permite que la planta pueda seguir funcionando.

Acciones a tomar

Actividad	Acciones claves	Frecuencia
Medición y control de caudal	<p>Verificar el nivel de agua en el dispositivo de aforo de cada unidad.</p> <hr/> <p>Ajustar la válvula de entrada hasta alcanzar el caudal de operación.</p>	Diaria – Tres turnos (6-7 a.m., 12-1 p.m. y 6 p.m.)
Medición de turbiedad	<p>Medir la turbiedad del agua a la entrada de la unidad.</p> <hr/> <p>Medir la turbiedad del agua a la salida de la unidad.</p>	Diaria – Tres turnos (6-7 a.m., 12-1 p.m. y 6 p.m.)
Evacuación de lodos o sedimentos	Disponer la evacuación de sedimentos del fondo de la unidad, cuando la diferencia entre la turbiedad del agua efluente y el afluente sea baja.	<p>En función de la tecnología de tratamiento:</p> <p>Lodos activados- cada 3 meses</p> <p>Lagunas de estabilización- cada 5 años</p> <p>Reactores / RAFA – mensual</p>
Registro de información	<p>Anotar en el libro de registro diario los valores de turbiedad en el ingreso y salida de la unidad.</p> <hr/> <p>Cambios en el caudal de la fuente durante el día.</p> <hr/> <p>Fecha de lavado de la unidad.</p> <hr/> <p>Anotar cualquier situación anormal que se presente.</p>	Diaria – Tres turnos (6-7 a.m. ,12-1 p.m. y 6 p.m.)
Monitoreo de calidad de agua	Toma de muestra de parámetros de campo (pH, T° y OD)	Diaria – Tres turnos (6-7 a.m. , 12-1 p.m. y 6 p.m.)

COSTOS DE OPERACIÓN

34

Una planta de tratamiento de aguas residuales **debe gestionarse con responsabilidad y visión empresarial de largo plazo.**

De poco serviría poner en marcha un sistema de tratamiento de efluentes si este terminara abandonado debido a la limitada capacidad operativa; y el sustento para su funcionamiento, que finalmente impacta en su sostenibilidad.

En las entidades prestadoras de servicios de saneamiento (EPS) normalmente existe una gerencia a cargo de las aguas residuales, la cual puede, a su vez, nombrar un jefe de planta para las operaciones de tratamiento. En el caso de las Juntas Administradoras de Servicios de Saneamiento (JAAS), la estructura organizativa podrá ser más sencilla. De todos modos, ambas clases de instituciones deben implementar medidas para garantizar el cumplimiento de los objetivos y el control del presupuesto.

De acuerdo con la Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento (Decreto Legislativo N°1280), el tratamiento de las aguas residuales realizado por las EPS es visto como parte de la gestión eficiente de los recursos hídricos del país, y sus costos deben ser asumidos por los usuarios.

Las EPS deben elaborar sus planes maestros optimizados (PMO) con un horizonte de 30 años. En ellos se tiene que incluir la descripción del sistema de alcantarillado y el tratamiento de aguas residuales, el análisis de la oferta-demanda y la proyección de la implementación de nuevas PTAR.

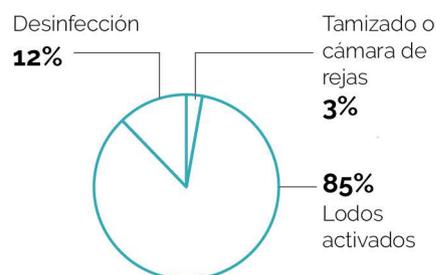
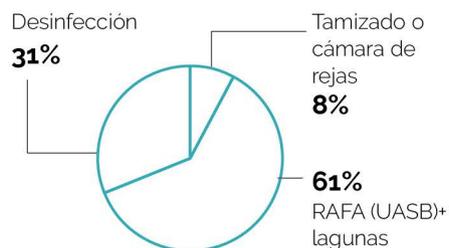
La SUNASS elabora los estudios tarifarios con un plazo de cinco años. Estos incorporan los costos de operación y mantenimiento del servicio de alcantarillado y proyectos de inversión prioritarios.

¿Qué conceptos generan mayores gastos en una PTAR?

Una manera de comparar el costo de las tecnologías de tratamiento es estimar cuánto dinero le correspondería pagar por ella a cada habitante de la población servida. De ese modo, los lodos activados cuestan, aproximadamente, 4,47 dólares al año por poblador, mientras que los humedales artificiales, 1,51 dólares anuales.

Orden de mayor costo de operación y mantenimiento	Proceso de Tratamiento	USD / (año per cápita) Costo variable según la cantidad de población
1	Lodos activados	4,47
2	Humedales	1,51
3	Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA)	1,51
4	Filtro percolador	1,24
5	RAFA (UASB) + lagunas	1,23
6	Lagunas convencionales	0,68
7	Desinfección	0,62
8	Tamizado	0,15

Una planta podría tener diversas configuraciones. Los porcentajes de costo varían de acuerdo con la configuración elegida. **A modo de ejemplo se presenta una distribución probable.**





Esfuerzo colectivo

La construcción de una PTAR genera interés en la población porque eleva su calidad de vida.

“ El diseño del sistema se determina por las características del agua a tratar ”



MARCO LEGAL E INSTITUCIONAL



La Ley de Recursos Hídricos (Ley N° 29338) declara que el agua es un recurso natural renovable, indispensable para la vida, vulnerable y estratégico para el desarrollo sostenible. Además afirma que el Estado promueve y controla el aprovechamiento y la conservación sostenible de los recursos hídricos. Por ello previene que su calidad ambiental y las condiciones naturales de su entorno se vean afectadas. El aprovechamiento eficiente del agua es otro de los principios en los que se sustenta la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos.

En ese marco, la ley, promulgada en el 2009, considera las aguas residuales entre los recursos hídricos que deben gestionarse. La norma encarga a la Autoridad Nacional del Agua, cabeza del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos, la responsabilidad de autorizar el vertimiento del agua residual tratada a los cuerpos de agua natural. También le corresponde autorizar el reúso del agua residual tratada.

Esta es una de las principales bases legales con las que operan las Plantas de Tratamiento de Agua Residual (PTAR). Otra es la Ley General de Servicios de Saneamiento (Ley N° 26339, modificada por el Decreto Legislativo N° 1240). Esta declara de necesidad pública la gestión y prestación de servicios de saneamiento con el propósito de promover el acceso universal de la población a dichos servicios y proteger la salud de las personas y el ambiente.

Según dicha ley, el sistema de tratamiento y disposición de las aguas servidas integra los servicios de saneamiento. En el ámbito urbano, estos son prestados por entidades públicas, privadas o mixtas por encargo de las municipalidades provinciales. En el ámbito rural, las municipalidades distritales administran los servicios a través de organizaciones comunales.



El Decreto Legislativo N° 1240, del 2015, permite a los prestadores de dichos servicios comercializar el agua residual tratada con fines de reúso; y, vender los residuos sólidos y los subproductos generados en el proceso de tratamiento.



Asimismo, la **Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos (D.L. N° 1278)**, publicada en 2016, precisa que los lodos provenientes de las plantas de tratamiento de agua serán manejados como residuos sólidos no peligrosos, salvo cuando el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento determine lo contrario. El sector Vivienda emitió un reglamento para el aprovechamiento de los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales (D.S. N° 015-2017-VI-VIENDA). El reglamento establece parámetros que permiten el uso de los biosólidos provenientes de la estabilización de lodos.

A continuación mencionamos otros dispositivos legales relacionados con los sistemas de tratamiento de aguas:



DIGESA/MINSA
- DS N° 001-2016-SA y modificatorias
Texto Único de Procedimientos Administrativos de DIGESA: trámite de autorización sanitaria del sistema de tratamiento y disposición final de aguas residuales domésticas con infiltración en el terreno.



ALA-AAA-ANA/MINAGRI
Resolución Jefatural R.J. N° 224-2013-ANA
Autorización de Reúso de Aguas Residuales Industriales, Municipales y Domésticas Tratadas.
- R.J. N° 007-2015-ANA
Aprueban Reglamento de Procedimientos Administrativos para el Otorgamiento de Derechos de Uso de Agua y Autorizaciones de Ejecución de Obras en Fuentes Naturales de Agua.



MINAM
- D.S. N° 003-2010-MINAM
Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales.



Normas técnicas
- IS. 020 Tanques Sépticos
- OS.060 Drenaje Pluvial Urbano
- OS. 070 Redes de Aguas Residuales
- OS. 090 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales

BIBLIOGRAFÍA



Hess, M. (1981). Tratamientos preliminares [Conferencia presentada en el Curso Regional sobre Lagunas para Estabilización de Aguas Residuales, realizado en Lima en Nov. de 1981]. Lima: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).

Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2005). Guía para el diseño de tanques sépticos, tanques Imhoff y lagunas de estabilización. Lima: OPS. Recuperado de <https://goo.gl/cGoGeA>

Organización Panamericana de la Salud (OPS). (2006). Memoria del taller "Tecnologías apropiadas en agua y saneamiento rural": Cámaras rompe presión en sistemas de agua y tratamiento de aguas residuales. Lima: OPS. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/tecapro/documentos/miscela/memoriaTallerTecnoA&S2006.pdf>

Valencia, G. (1980). Tratamientos primarios [Conferencia en el Curso de Pequeños Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales realizado en Mérida en octubre de 1980]. Mérida: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) y CIDIAT.

Valencia, G. (1980). Conceptos generales de tratamiento biológico [Conferencia en el Curso de Pequeños Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales realizado en Mérida en octubre de 1980]. Mérida: Centro Panamericano de

Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) y CIDIAT.

Vega, M. , Bontoux, L. & Papameletiou, D. (2005). Tratamiento de las aguas urbanas residuales en Europa: el problema de los lodos. Revista DYNA, Enero-Febrero de 2005, 45-49. Recuperado de <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd66/MiguelVega.pdf>

Yáñez, F. (1980). Criterios para la selección de procesos de tratamiento de aguas residuales [Conferencia en el Curso de Pequeños Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales realizado en Mérida en octubre de 1980]. Mérida: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) y CIDIAT.

Yáñez, F. (1980) Consideraciones de ingeniería en el tratamiento de desechos industriales. [Conferencia en el Curso de Pequeños Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales realizado en Mérida en octubre de 1980]. Mérida: Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS) y CIDIAT.



Autoridad Nacional del Agua

Calle Diecisiete No. 355, Urb. El Palomar,

San Isidro - Lima, Perú

Telf: 511-2243298

www.ana.gob.pe

www.minagri.gob.pe

