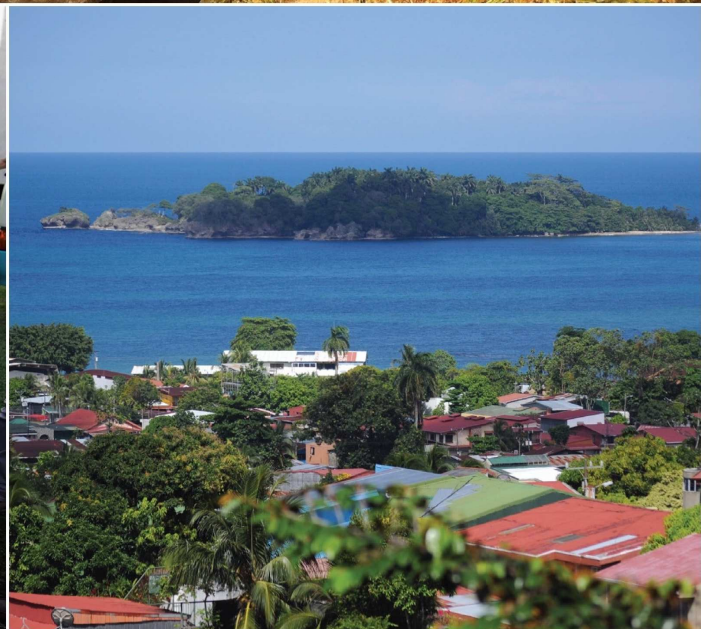


FUNDAMENTOS PARA EL MANEJO DE AGUAS RESIDUALES



COSTA RICA
GOBIERNO DE LA REPÚBLICA



INSTITUTO COSTARRICENSE DE
ACUEDUCTOS Y ALCANTARILLADOS





**Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
Centro de Documentación e Información
UEN Investigación y Desarrollo**



**AUTORIZACIÓN INSTITUCIONAL PARA PUBLICAR TESIS, ESTUDIOS,
ARTÍCULOS Y/O INFORMES PROPIEDAD INTELECTUAL DE AyA EN
EL REPOSITORIO DIGITAL DEL CEDI**

Yo, Annette Henchoz Castro

N° Cédula: 1-0725-0409

Dependencia: Gerencia General

Autorizo como Sub Gerente General y representante legal del Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (AyA) cédula jurídica 4-000-042138 al Centro de Documentación e Información (CEDI) de la UEN Investigación y Desarrollo la inclusión, publicación y difusión en su Repositorio Digital, Catálogo en línea (OPAC) y la intranet institucional de la documentación incluida en la lista adjunta.

Se trata de estudios y documentos cuyos derechos intelectuales y de uso son exclusivos de nuestra institución.

E-mail: centrodoc@aya.go.cr **N° Teléfono:** 2242-5487

Annette
Henchoz Castro

Firmado digitalmente por
Annette Henchoz Castro
Fecha: 2019.11.25 16:07:20
-05'00'

Firma: _____

FUNDAMENTOS PARA EL MANEJO DE
AGUAS
RESIDUALES



2016

Elaborado por:

- Nancy Briceño Sánchez.
Estudiante de Ingeniería Química

Dirigido, revisado y editado por:

- Inga. Laura Torres Corral, MSc.
Dirección de Saneamiento de Sistemas Delegados.
Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.
- Ing. Álvaro Araya García, MSc.
Director UEN Recolección y Tratamiento Sistemas Periféricos.
Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
- Ing. Andrés Lazo Páez, MSc.
UEN Recolección y Tratamiento Sistemas Periféricos, Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados
- Bach. Juan Diego Quirós González.
UEN Recolección y Tratamiento Sistemas Periféricos. Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados

Diseño y diagramación: Leila Calderón



Contenido

Capítulo 1. Saneamiento de aguas residuales ordinarias	7
1.1 Introducción.....	7
1.2 Ciclo social del agua.....	7
1.3 Saneamiento de aguas residuales ordinarios.....	8
1.4 Saneamiento y su importancia.....	9
1.5 Evacuación de aguas residuales en la vivienda.....	9
1.6 Recolección de aguas residuales.....	10
1.7 Tratamiento de aguas residuales.....	11
1.8 Disposición final del agua residual.....	14
1.9 Manejo, tratamiento y disposición final de lodos o biosólidos.....	15
Capítulo 2. Aguas residuales	17
2.1 Concepto y origen.....	17
¿Qué es el agua residual?.....	17
2.2 Contaminantes presentes en el agua residual.....	18
2.3 Características del agua residual.....	20
2.3.1 Características físicas.....	20
2.3.1.1 Sólidos suspendidos totales (SST).....	20
2.3.1.2 Sólidos suspendidos sedimentables (S.Sed.).....	22
2.3.1.3 Temperatura (T).....	22
2.3.2 Características químicas.....	23
2.3.2.1 Grasas y aceites (GyA).....	23
2.3.2.2 Sustancias activas al azul de metileno (SAAM).....	23
2.3.2.3 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO _{5, 20}).....	23
2.3.2.4 Demanda química de oxígeno (DQO).....	24
2.3.2.5 Potencial de hidrógeno, pH.....	24
2.3.2.6 Otras características químicas de interés.....	26
2.3.3 Características biológicas.....	26
Conceptos de interés.....	28

Capítulo 3. Sistemas de tratamiento individual para aguas residuales ordinarias	31
3.1 Introducción	31
3.2 Sistema individual para el Tratamiento de Aguas Residuales Ordinarias	32
3.3 Tanques sépticos	33
3.4 Sistema de infiltración al terreno	39
3.5 Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)	42
3.6 Lodos activados	43
3.7 Humedales artificiales y biojardineras	44
3.8. Resumen	48
Conceptos de interés	48
Capítulo 4. Sistemas colectivos para el tratamiento de aguas residuales ordinarias	51
4.1 Introducción	51
4.2 Sistemas colectivos para tratamiento de aguas residuales ordinarias	51
4.2.1 Pretratamiento	53
4.2.2 Separación de arenas y sólidos finos	55
4.2.3 Remoción de grasas y aceites (trampa de grasas)	56
4.2.3.1 Lodos activados y sus variantes	64
4.2.3.2. Lagunas de estabilización	71
4.2.3.3 Reactores Anaerobios	77
4.2.3.4 Nuevas tecnologías	78
4.3. Resumen	81
Conceptos de interés	82
Capítulo 5. Legislación nacional	83
5.1 Introducción	83
5.2 Constitución Política	84
5.3 Tratados o convenios internacionales	84
5.4 Leyes	84
5.5 Reglamentos	85
5.5.1 Reglamento de Aprobación y Operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales (N° 39887-S-MINAE)	85
5.5.2 Reglamento del Canon ambiental por vertidos (34431- MINAE-S)	86
5.5.3 Reglamento de Vertido y reuso de aguas residuales (33601-MINAE-S)	88
5.5.4 Reglamento para el Manejo y disposición final de lodos y biosólidos (N°39316-S)	91

5.6 Normas.....	93
5.6.1 Reglamentación técnica para diseño y construcción de urbanizaciones condominios y fraccionamientos (N° 2006-730), Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.....	93
5.6.2 Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones	97
5.6.3 Procedimiento para la recepción de un sistema de saneamiento administrado por una ASADA.....	98
5.7 Conclusiones.....	98
Referencias.....	99



CAPÍTULO 1.

Saneamiento de aguas residuales ordinarias

1.1 Introducción

El agua es un elemento esencial para el desarrollo de las actividades diarias del ser humano y debido a los usos que se hace de ella, va siendo contaminada de diversas formas; puede ser con elementos físicos como residuos plásticos, palos, llantas, residuos orgánicos, toallas sanitarias, restos de comida, entre otros; con componentes químicos tales como jabones, detergentes, fertilizantes, aceites, grasas, etc., o con contaminantes biológicos como heces, orina, microorganismos, etc.

Una vez que el agua es utilizada, sus propiedades –ya sea físicas, químicas o biológicas– cambian y pasa a llamarse agua residual. En este punto es donde se inicia el proceso de saneamiento, que involucra la evacuación, recolección, tratamiento y la disposición final del agua residual tratada. A continuación se describen los procesos que componen el saneamiento.

1.2 Ciclo social del agua

El ciclo social del agua se refiere al proceso que se da en el uso del agua, desde que se capta para las actividades humanas hasta que se dispone en un medio receptor autorizado.

En la figura 1 se muestra como el ciclo inicia con los procesos de captación, potabilización y distribución; señalados en color verde, el conjunto de estos tres procesos se conoce como abastecimiento de agua potable. Posteriormente, una vez que el agua es utilizada en diversas actividades da lugar a la línea de saneamiento compuesta por los procesos de recolección, tratamiento y disposición final, en color rojo.



Figura 1. Ciclo del uso del agua en el abastecimiento y el saneamiento.

Fuente: Consorcio para el Abastecimiento de Agua y Saneamiento en el Principado de Asturias, Gobierno del Principado de Asturias, tomado de: <http://www.consorcioaa.com/cmscaa/opencms/CAA/el-agua/ciclo-del-uso-del-agua.htm>

A continuación será desarrollado con mayor detalle la fase de saneamiento en el ciclo social del agua, con el fin de brindar los conceptos y nociones básicas alrededor de este tema que permitan implementar, operar, y mejorar la infraestructura y tecnologías actuales dedicadas a este propósito.

1.3 Saneamiento de aguas residuales ordinarios

El saneamiento es la gestión integral de las excretas y aguas residuales de origen doméstico, donde se incluyen los sistemas colectivos e individuales de tratamiento de aguas residuales; involucra un conjunto de operaciones y procesos unitarios, que permiten llevar a cabo su evacuación, recolección, tratamiento y disposición final.

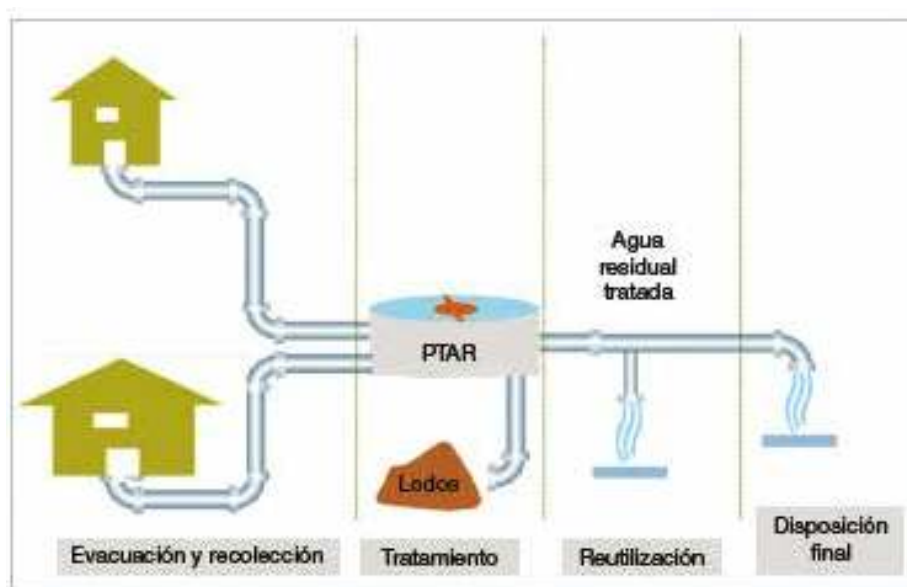


Figura 2. Esquema general del proceso de saneamiento de aguas residuales.

Fuente: Confederación hidrográfica del Duero, 2013

1.4 Saneamiento y su importancia

El vertido directo y el tratamiento inadecuado de las aguas residuales generadas por las actividades humanas son una de las principales causas de contaminación de las aguas subterráneas, superficiales, y marinas, así como de la alteración y degradación de los ecosistemas asociados. Lo anterior tiene como consecuencia impactos negativos sobre la salud pública, actividades relacionadas con el turismo y recreación, y en general afecta el desarrollo del país. (Ameijenda, 2002). Así mismo, limita la posibilidad de uso del recurso hídrico y aumenta el costo de tratamiento del agua destinada para consumo humano, agricultura o algún proceso productivo.

Por esto, el saneamiento de las aguas residuales se convierte en una necesidad ineludible. Esta es, además, una responsabilidad de toda la ciudadanía y una obligación de la administración pública y entes operadores del agua potable y el saneamiento, cada uno en su ámbito de competencia.



Figura 3. Vertido de aguas residuales sin tratamiento.

Fuente: <http://www.azud.com>

1.5 Evacuación de aguas residuales en la vivienda

La evacuación de las aguas residuales consiste en la disposición segura y el transporte de las aguas residuales de una vivienda o inmueble, hacia el alcantarillado sanitario o hacia un sistema de tratamiento individual, a través de un conjunto de tuberías, accesorios y uniones.

Las instalaciones internas utilizadas para la evacuación están formadas por las tuberías que sirven para recolectar las aguas residuales desde los distintos dispositivos sanitarios: servicio sanitario, duchas, lavatorios y pilas o fregaderos.

Otros componentes de la red de evacuación que existen en una vivienda o inmueble son:

- ◆ Desagües
- ◆ Sifones
- ◆ Cajas de registro
- ◆ En el caso de edificaciones de dos plantas o más se incorporan los bajantes.

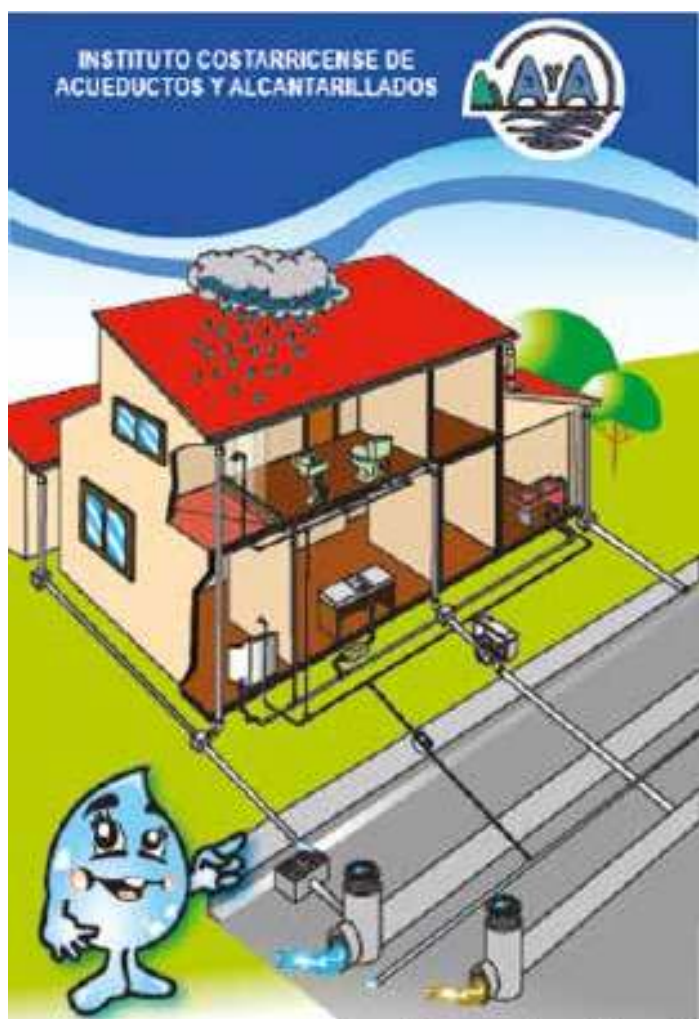


Figura 4. Esquema de saneamiento de una vivienda.

Fuente: Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2016

1.6 Recolección de aguas residuales

En el caso de sistemas colectivos, la recolección y transporte de aguas residuales desde las viviendas hacia la planta de tratamiento se lleva a cabo por medio de una red de tuberías, conocida como alcantarillado sanitario. Algunos componentes del alcantarillado sanitario son la red de tuberías, los subcolectores, los colectores, los pozos de registro y las estaciones de bombeo de aguas residuales.

El agua residual, dependiendo de la topografía del terreno, será conducida por gravedad a la planta de tratamiento o, en determinados casos, habrá que recurrir a su bombeo por medio de estaciones de bombeo y tuberías de impulsión.

Es importante recordar que además del alcantarillado sanitario, existe el alcantarillado pluvial, que es una red de tuberías utilizadas para recolectar y transportar las aguas de lluvia por separado, hasta su punto de descarga. El alcantarillado pluvial cuenta con tragantes que recolectan el agua pluvial de las cunetas o caños y las transporta mediante pozos de registro y tuberías hacia un punto de descarga en un cuerpo de agua. En Costa Rica, la administración, operación y mantenimiento del

alcantarillado pluvial es responsabilidad de los gobiernos locales, es decir, de las municipalidades. En Costa Rica, las tuberías de alcantarillado sanitario se instalan en el centro de las calles y el alcantarillado pluvial bajo el cordón del caño o junto a la acera.

En el caso del alcantarillado sanitario el ente que provee el servicio de agua potable, ya sea Acueductos y Alcantarillados (AyA), las municipalidades, la Empresa de Servicios Públicos de Heredia (ESPH) o las Asociaciones Administradoras de Acueductos y Alcantarillados Comunales (ASADAS), según sea el caso, es el responsable de la administración, la operación y el mantenimiento del alcantarillado sanitario, de sus sistemas de tratamiento de aguas residuales y de la disposición final del agua tratada; así como de los residuos sólidos que se generan en el proceso de tratamiento del agua residual, como son los sólidos gruesos, los lodos y las natas, entre otros. Según la Procuraduría General de la República, el abastecimiento de los servicios de agua potable y el saneamiento deben ser brindados por un solo ente operador (Procuraduría General de la República Dictamen C-257-2003 del 27 de agosto del 2003), y de esta forma cerrar el ciclo social del agua.

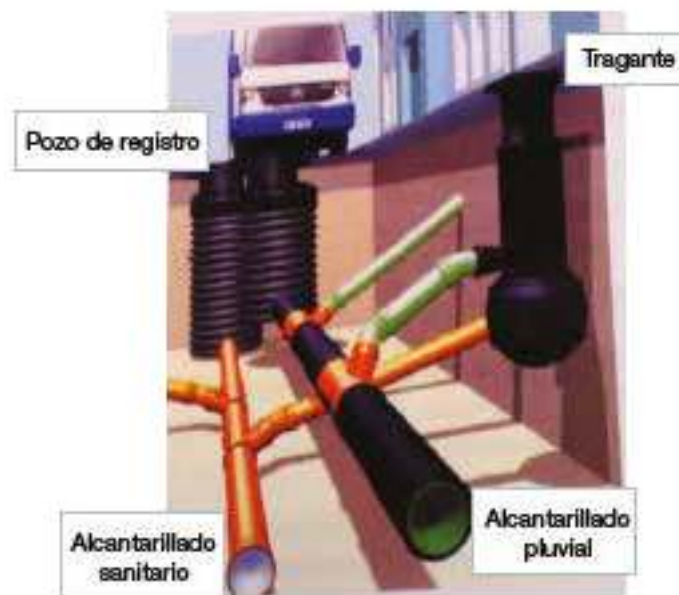


Figura 5. Esquema ilustrativo del alcantarillado sanitario y alcantarillado pluvial.
Fuente: Soriano, 2007

1.7 Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de las aguas residuales requiere la aplicación de procesos físicos, químicos y biológicos, de forma que los niveles de contaminación en los efluentes tratados cumplan los límites de vertido vigentes en la normativa y puedan ser asimilados de forma natural por los cuerpos receptores. Por tratarse de un conjunto de operaciones y procesos, es común llamarlos como Sistemas de Tratamiento de Agua Residual (STAR) o Plantas de Tratamiento de Agua Residual (PTAR).

Durante el proceso de tratamiento existen dos factores que deben tenerse en cuenta, los componentes o contaminantes presentes en el agua residual y el orden de eliminación de los mismos durante el proceso.

En general, las operaciones y procesos que se llevan a cabo en una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) siguen el siguiente orden para tratar los contaminantes presentes:

1. Sólidos gruesos
2. Arenas y residuos sólidos de menor tamaño
3. Grasas y aceites
4. Materia orgánica sedimentable
5. Materias orgánica disuelta y coloidal
6. Nutrientes (fósforo y nitrógeno)
7. Organismos patógenos.

Nota: Los puntos 6 y 7 hacen referencia a nutrientes y organismos patógenos. Estos parámetros no son regulados en la normativa nacional vigente para aguas residuales ordinarias que se vierten a un cuerpo receptor; sin embargo, es importante conocer que forman parte del agua residual.

Tomando como referencia el orden de tratamiento de contaminantes presentado, es posible hablar de las siguientes etapas dentro de un sistema de tratamiento de aguas residuales:

- ◆ **Pretratamiento:** etapa donde se separan los sólidos gruesos, arenas, grasas y aceites, se utilizan tamices, rejas, desarenadores y trampas de grasa.
- ◆ **Tratamiento primario:** tiene por objetivo el tratamiento de la materia sedimentable y una fracción de la materia orgánica, las unidades más aplicadas son los sedimentadores.
- ◆ **Tratamiento secundario:** se encarga del tratamiento de la materia orgánica disuelta, coloidal y, en algunos casos, nutrientes; en esta etapa se cuenta con una amplia gama de procesos como lodos activados, reactores anaerobios, sistemas lagunares y otras tecnologías.
- ◆ **Tratamiento terciario:** se utiliza para eliminar o disminuir la concentración de compuestos o elementos específicos, así como microorganismos patógenos; en el caso del tratamiento de patógenos, uno de los procesos más utilizados, es el tratamiento químico mediante la adición de compuestos desinfectantes como el hipoclorito de sodio o el hipoclorito de calcio, entre otros; también se pueden aplicar procesos de filtración.

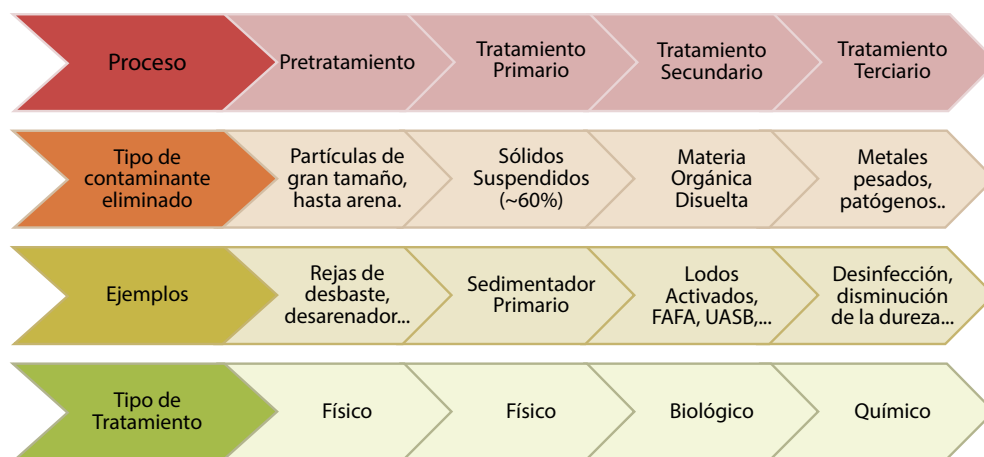


Figura 6. Diagrama descriptivo de las etapas de tratamiento de agua residual ordinaria.

Fuente: Centeno, E. Grupo PROAMSA. Manual Operativo Sistema de Lagunas Facultativas Aireadas, de San Isidro del General de Pérez Zeledón, 2014

Según lo anterior, un sistema de tratamiento de aguas residuales, debe estar conformado por una etapa de pretratamiento, seguida del tratamiento primario, posteriormente el tratamiento secundario y, en los casos que se requiera, un tratamiento terciario.

Sin embargo, factores como la calidad del agua residual a tratar, el caudal de agua residual, los requisitos de calidad del efluente y aspectos económicos y legales, condicionarán el uso de la totalidad de las etapas descritas, siempre con el objetivo de garantizar un óptimo proceso de tratamiento que se evidencie con efluentes de buena calidad y que permita una operación sencilla y de bajo costo.

En Costa Rica se utilizan dos tipos de sistemas de tratamiento de aguas residuales, los sistemas individuales y los sistemas colectivos. Estos se diferencian principalmente por su capacidad de tratamiento en términos de cantidad de personas, ubicación y las etapas de tratamiento que componen cada sistema.

Los sistemas individuales, por lo general tratan el agua residual de una vivienda o un inmueble, son instalados en el sitio, es decir en las inmediaciones de la vivienda, por lo que no se requiere de alcantarillado sanitario.



Figura 7. Ilustración de un Sistema Individual de Tratamiento de Aguas Residuales.

Fuente: Aguas residuales, 2010

Los sistemas colectivos se diferencian por tener la capacidad de tratar un mayor caudal, en este caso es posible realizar el tratamiento de núcleos de población, como urbanizaciones, barrios, distritos y ciudades.

Los sistemas colectivos requieren la implantación de sistemas de alcantarillado sanitario para realizar la recolección y transporte de las aguas residuales desde las viviendas hasta la planta de tratamiento de aguas residuales en un punto centralizado.

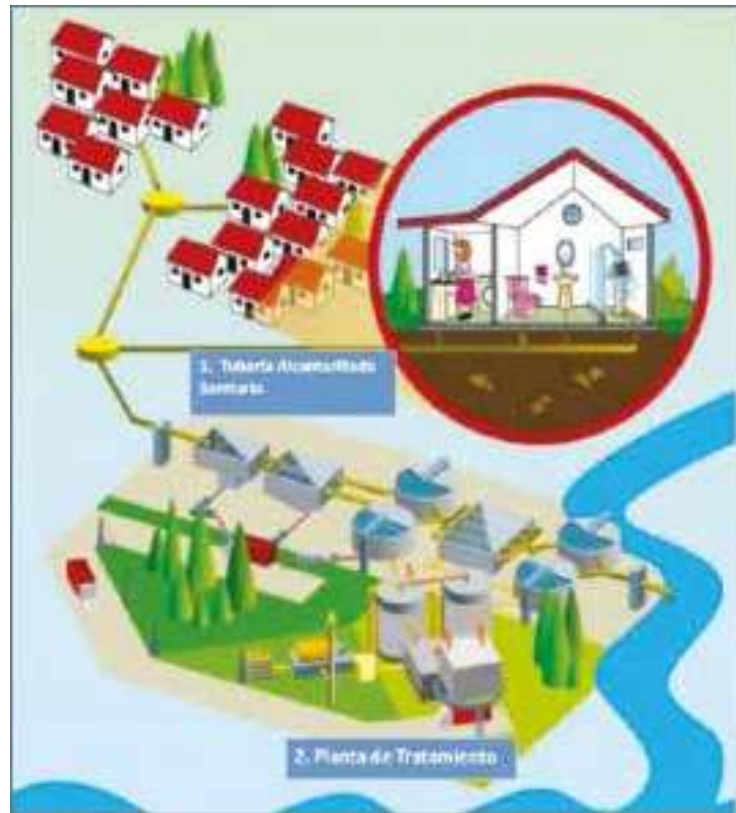


Figura 8. Ilustración sistema colectivo de tratamiento de aguas residuales ordinarias.
Fuente: Proyecto de mejoramiento ambiental del Área Metropolitana de San José, 2014

1.8 Disposición final del agua residual

Una vez estabilizada la materia orgánica y depurada el agua, la siguiente etapa es la disposición final del efluente tratado, en un cuerpo receptor u otro medio autorizado para tal fin.

En el caso de realizar la descarga hacia un cuerpo receptor, se deben cumplir algunos requisitos ya estipulados en la legislación nacional y que se mencionan a continuación:

- ◆ Cumplimiento de los límites máximos permisibles en el efluente tratado, de los parámetros establecidos en el Reglamento de Vertido y Reuso de Agua Residual 33601 MINAE-S.
- ◆ La descarga del efluente tratado se debe realizar a un cuerpo receptor autorizado, de caudal permanente.
- ◆ Se debe contar con el Permiso de Vertido del MINAE, de acuerdo a lo establecido en el Reglamento de Canon Ambiental por Vertido 34431 MINAE.

1.9 Manejo, tratamiento y disposición final de lodos o biosólidos

En un sistema de tratamiento de aguas residuales, paralelamente al proceso de tratamiento del agua residual, se requiere el manejo, tratamiento y disposición final de los lodos y otros residuos sólidos producidos en las diferentes etapas de dicho proceso.

En el caso particular de los lodos, la cantidad y el grado de estabilización de estos, está directamente relacionado con el proceso de tratamiento utilizado en el agua residual.

De manera general, en el esquema de la figura 9 se muestra, el manejo recomendado para lodos de un sistema de tratamiento de agua residual, antes de realizar su adecuada disposición final.

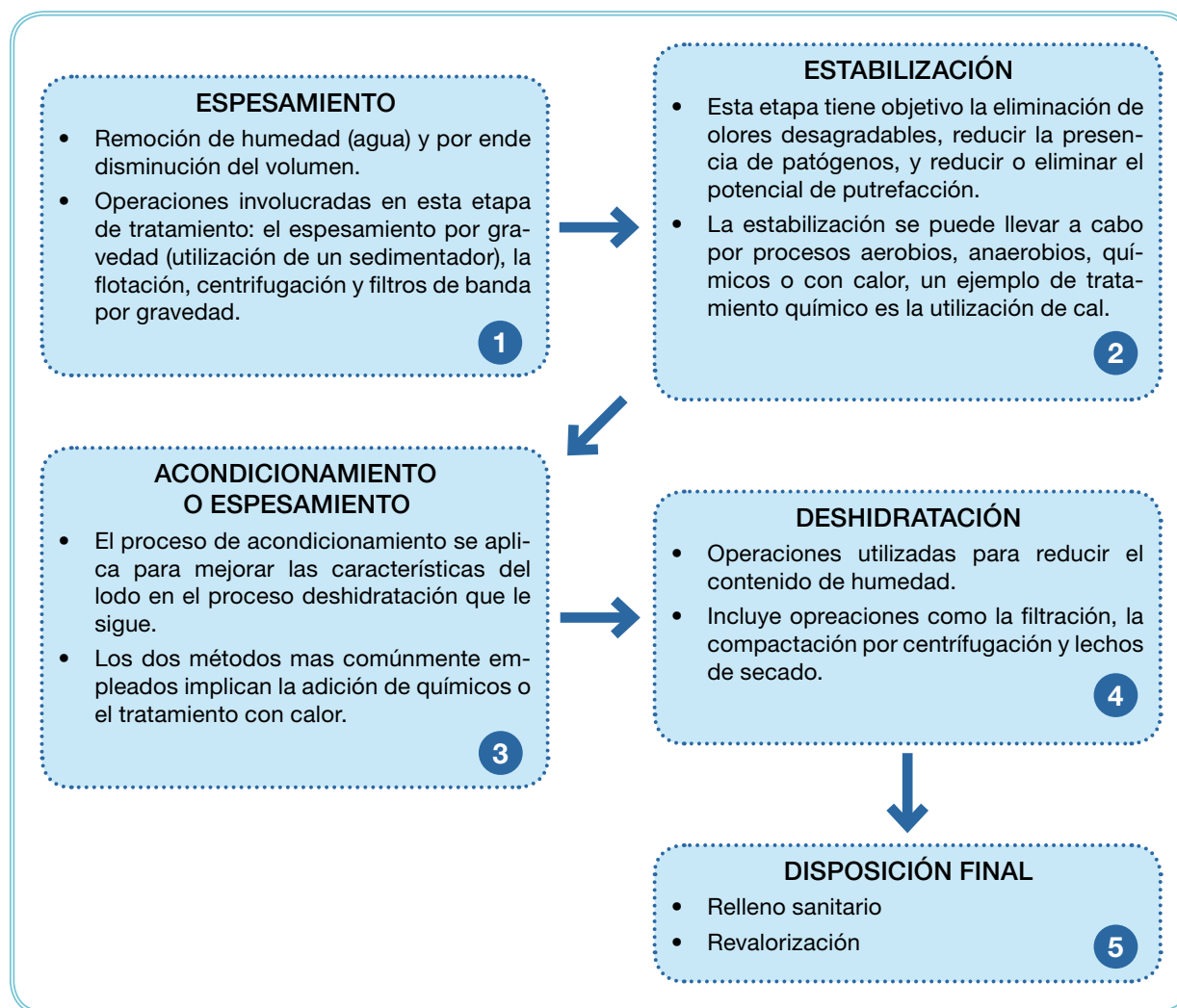


Figura 9. Etapas recomendadas para tratamiento de lodos.

Fuente: Metcalf y Eddy, 1996.

El producto que se obtiene una vez finalizado el tratamiento completo del lodo, se denomina biosólido, este presenta características apropiadas para ser dispuesto en un sitio autorizado, o bien, como mejoradores de suelos, material de cobertura en rellenos sanitarios, entre otros.

Adicionalmente, es importante realizar una adecuada disposición final de los sólidos gruesos, arenas, grasas y aceites extraídos de la etapa de pretratamiento del agua residual, estos residuos pueden ser dispuestos en un relleno sanitario autorizado. Previo a su disposición es recomendable lavar y deshidratar estos residuos, para disminuir su volumen e impacto.

En resumen, el proceso de saneamiento del agua residual ordinaria, implica la evacuación, la recolección, el tratamiento y la disposición final, tanto de los residuos líquidos como de los residuos sólidos que se derivan del proceso de tratamiento del agua residual.

Los mecanismos utilizados en cada etapa de saneamiento, estarán determinados según el tipo de sistema de tratamiento, es decir, si es un sistema individual o colectivo. En la figura 10, se muestran las principales características de cada tipo de sistema de tratamiento.

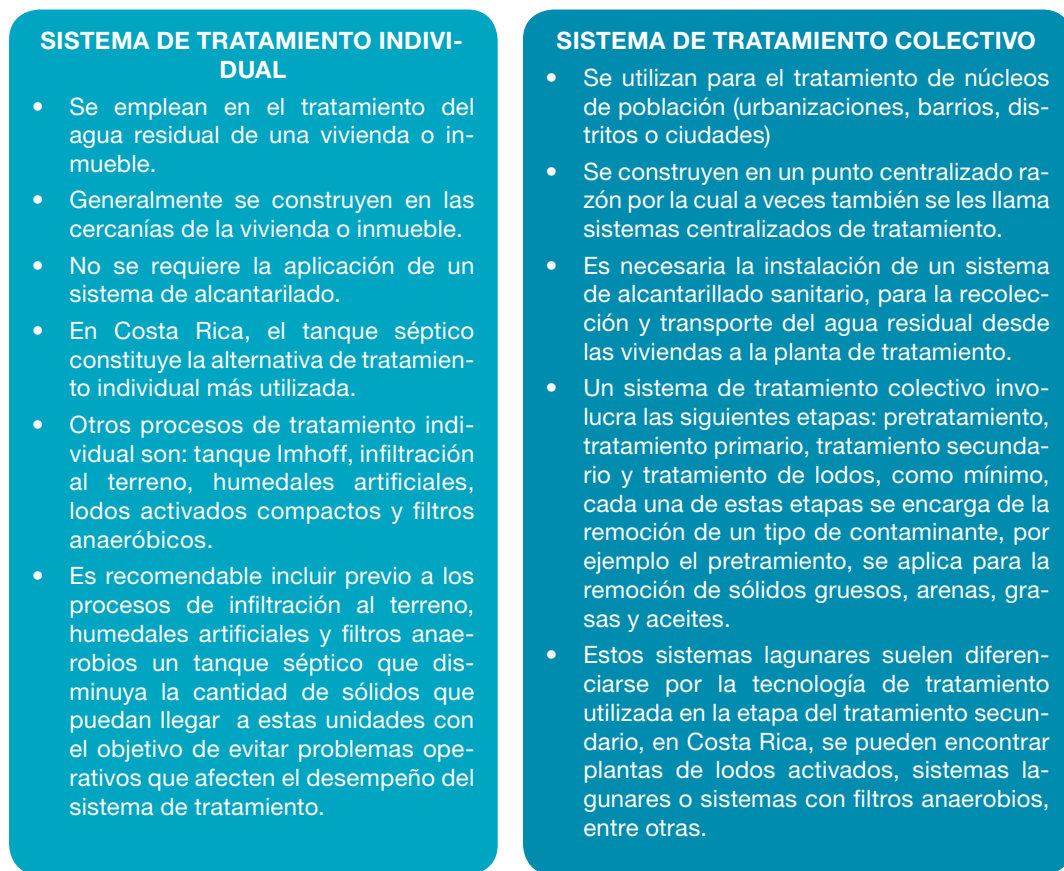


Figura 10. Esquema comparativo, características de los sistemas individuales y colectivos, utilizados en el tratamiento de aguas residuales ordinarias.

Fuente: Adaptado de Metcalf y Eddy, por Briceño, 2015

Es importante recordar que el saneamiento del agua residual, brinda la posibilidad de una mejor calidad de vida, tanto para las generaciones presentes como futuras, debido a la relevancia que tiene el agua en términos ambientales y en todas las actividades del quehacer humano.

CAPÍTULO 2.

Aguas residuales

2.1 Concepto y origen

¿Qué es el agua residual?

Es el agua que ha recibido un uso y cuya calidad ha sido modificada por la incorporación de agentes contaminantes. (Reglamento de Vertido y Reúso de Agua Residuales, N° 33601-MINAE-S, 2007).

Según su origen se clasifica en:

- ♦ Agua residual de tipo ordinario: agua residual generada por las actividades domésticas del ser humano.

Por ejemplo: las aguas que transportan heces y orina provenientes del inodoro, las aguas jabonosas que pueden contener grasas, las que proceden de la ducha, el lavamanos, el lavaplatos, las pilas o los fregaderos, de las lavadoras, entre otros.

- ♦ Agua residual de tipo especial: agua residual de tipo diferente al ordinario; se incluyen los residuos líquidos provenientes de procesos productivos industriales que incluso pueden tener origen agrícola o pecuario, los cuales pueden tener una composición muy variable dependiendo del tipo de industria.

Por ejemplo: vertidos de beneficios de café, de ingenios de azúcar, de granjas de pollos y cerdos, de mataderos, de producción de queso, de textileras, de restaurantes, panaderías, carnicerías y de supermercados, entre otros.

El *agua pluvial* es agua de lluvia, pero este tipo de agua **no se considera agua residual**, a pesar de que arrastra partículas y contaminantes presentes tanto en la atmósfera como en las superficies de contacto como casas, edificios, calles, aceras, etc., razón por la cual, **debe recolectarse y disponerse por separado**. Para ello es necesario que las canoas y bajantes de casas y edificios se dirijan a las cunetas o caños, de modo que por medio de los tragantes ingresen al alcantarillado pluvial y finalmente se dispongan en un cuerpo de agua. Este tipo de agua no debe ser dispuesta en el alcantarillado sanitario, ni en cajas sifón o algún otro elemento de ese sistema.

2.2 Contaminantes presentes en el agua residual

Los principales contaminantes que se deben controlar y eliminar de las aguas residuales se detallan a continuación:

- ♦ *Sólidos gruesos*: como trozos de madera, trapos, plásticos, papel higiénico, toallas sanitarias, restos de comida y demás residuos sólidos que son arrojados a la red de alcantarillado.
- ♦ *Arenas*: bajo esta denominación se incluyen las arenas propiamente, la grava o piedras, la tierra y partículas de menor tamaño de origen mineral u orgánico que son arrastradas por el agua durante su trayectoria por el alcantarillado.
- ♦ *Grasas y aceites*: estos residuos llegan al agua residual a causa del uso de productos como manteca, margarina, mantequilla o aceites vegetales utilizados en la preparación de alimentos, principalmente. Las grasas y aceites son una fuente importante de problemas operativos en tanques sépticos, en sistemas de recolección como tuberías y en sistemas de tratamiento de aguas residual. (Crites y Tchobanoglous, 2000)
- ♦ *Sustancias o productos biodegradables*: estos materiales están compuestos por materia orgánica y compuestos inorgánicos que se descomponen fácilmente. Su proceso de degradación provoca un consumo de oxígeno en el medio al que se vierten. Ejemplos de productos biodegradables son las heces, las cáscaras de alimentos, el papel y el cartón, entre otros.
- ♦ *Nutrientes*: como por ejemplo el nitrógeno (N₂) y el fósforo (P); su presencia en las aguas se debe, principalmente, a los detergentes, los fertilizantes y las excretas humanas. Las excretas humanas aportan nitrógeno orgánico, en el caso de los detergentes introducen compuestos que contienen fósforo y su principal problema es la generación de espumas, tanto en sistemas de tratamiento como en puntos de vertido de agua residual.
- ♦ *Agentes patógenos*: organismos presentes en menor cantidad en las aguas residuales y que pueden producir o transmitir enfermedades como virus, bacterias, protozoos, hongos, etc.
- ♦ *Contaminantes emergentes o prioritarios*: los hábitos de consumo de la sociedad actual generan una serie de contaminantes que no existían anteriormente. Estas sustancias aparecen principalmente añadidas a productos de cuidado personal, de limpieza doméstica y farmacéuticos como son los residuos de antibióticos y hormonas, entre otros. (Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población, 2006).



Figura 11. Ejemplos de contaminantes presentes en el agua residual

Existen varias formas de clasificar los contaminantes presentes en el agua residual; por ejemplo, es posible separarlos de acuerdo con sus propiedades físicas, químicas o biológicas según el estado de la materia, o también es posible diferenciarlos por el tamaño de los sólidos presentes; en este particular, se hace referencia a la materia flotante, la materia coloidal y la disuelta y, por último, la materia sedimentable, en la figura 12 se indican algunos ejemplos de esta división.

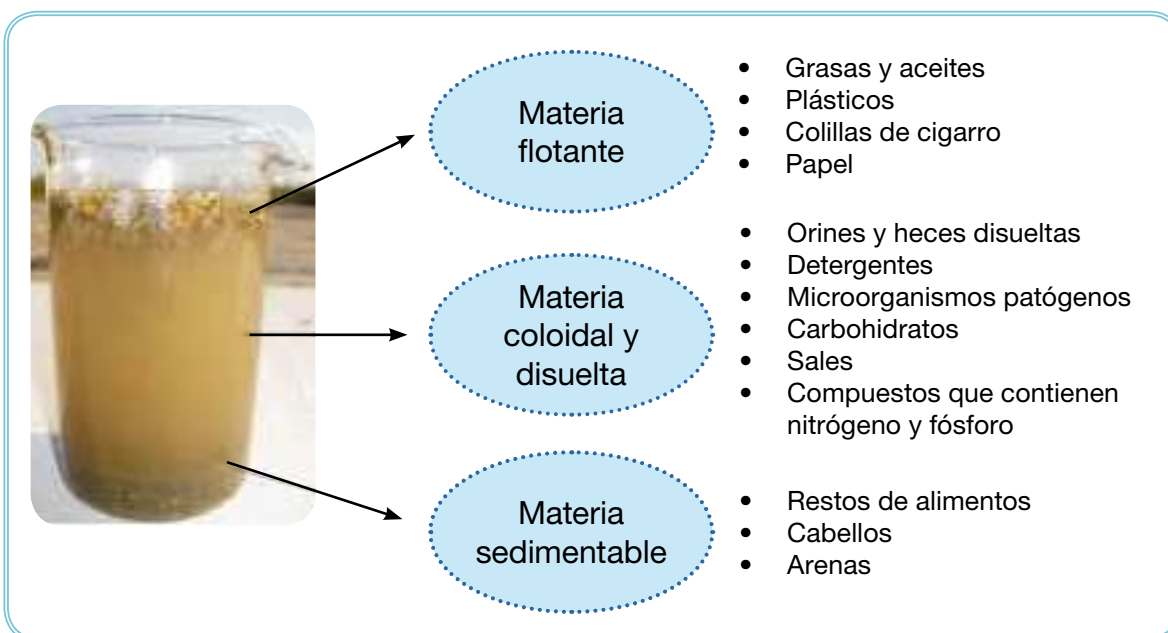


Figura 12. Clasificación de contaminantes del agua residual, según tamaño de sólidos.

Fuente: Confederación Hidrográfica del Duero, 2013

2.3 Características del agua residual

Para caracterizar las aguas residuales se emplea un conjunto de parámetros que permiten cuantificar los contaminantes anteriormente definidos y determinar su calidad. Para ello es común agrupar estos parámetros en las siguientes categorías:

- ♦ Características físicas
- ♦ Características químicas
- ♦ Características biológicas

2.3.1 Características físicas

Las características físicas más importantes del agua residual son el contenido total de sólidos, término que abarca la materia en suspensión, la materia sedimentable, la materia coloidal y la materia disuelta; el color, el olor, la temperatura, la densidad y la turbidez. (Metcalf y Eddy, 1996)

De las características anteriores, son de interés los sólidos suspendidos totales, los sólidos sedimentables y la temperatura ya que estos parámetros físicos se encuentran regulados por la legislación nacional vigente, a través del Reglamento de Vertido y Reuso de Agua Residuales (N° 33601-MINAE-S).

2.3.1.1 Sólidos suspendidos totales (SST)

Los sólidos suspendidos totales son visibles y, por lo general, flotan en las aguas residuales entre la superficie y el fondo; estos pueden ser removidos por diferentes medios, que pueden ser físicos o mecánicos a través de algún proceso de sedimentación o filtración.

Los sólidos suspendidos brindan una idea del impacto que tendrían los sólidos contenidos en el agua residual a la hora de ser vertidos en un cuerpo receptor, cuya acumulación dará lugar a la aparición de efluentes turbios y a la formación de lodos.

La medición de los sólidos suspendidos totales (SST), se realiza haciendo pasar un volumen determinado de agua residual por un filtro o tamiz de 0.45 micras, previamente pesado; aquellos sólidos retenidos en el medio filtrante, se someten posteriormente a un proceso de secado a una temperatura de 105 °C, por dos horas en un horno. (Metcalf y Eddy, 1996).

Finalizado el tiempo de secado, se extrae la muestra del horno y se espera a que alcance la temperatura ambiente, en esta etapa del procedimiento de medición es común utilizar un equipo llamado desecador para colocar la muestra mientras alcanza la temperatura ambiente, 25 ° C aproximadamente, la razón principal es evitar que la muestra absorba la humedad del ambiente y así obtener valores más confiables; luego se pesa y por medio de la diferencia de pesos, al peso final del filtro con la muestra seca se le resta el valor del peso del filtro sin muestra, y se obtiene la cantidad de sólidos suspendidos contenidos en dicha muestra. En la figura 13 se muestra un esquema del proceso de medición descrito. (Metcalf y Eddy, 1996).

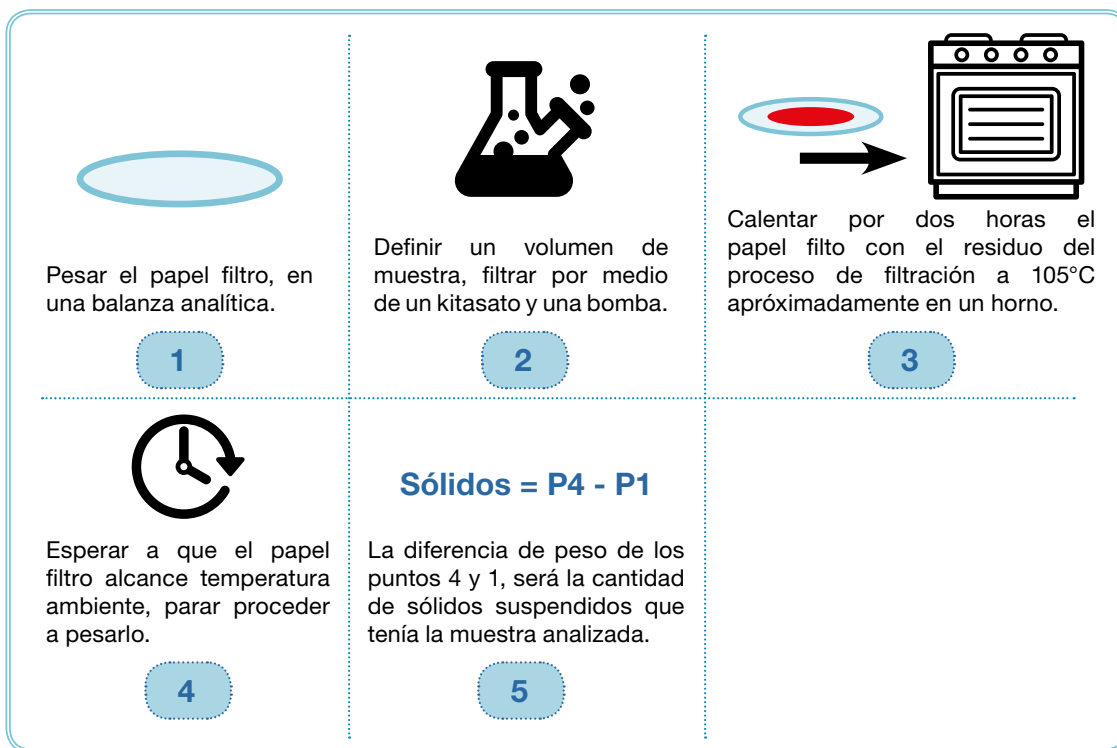


Figura 13. Esquema para medición de sólidos suspendidos totales

Fuente: Realizado por Briceño, 2015

Dentro de los sólidos en suspensión se encuentran los *sólidos sedimentables*, que debido a su peso sedimentan y los *sólidos no sedimentables*.

En la figura 14, se muestra una clasificación de sólidos de acuerdo con el tamaño de las partículas que los conforman.

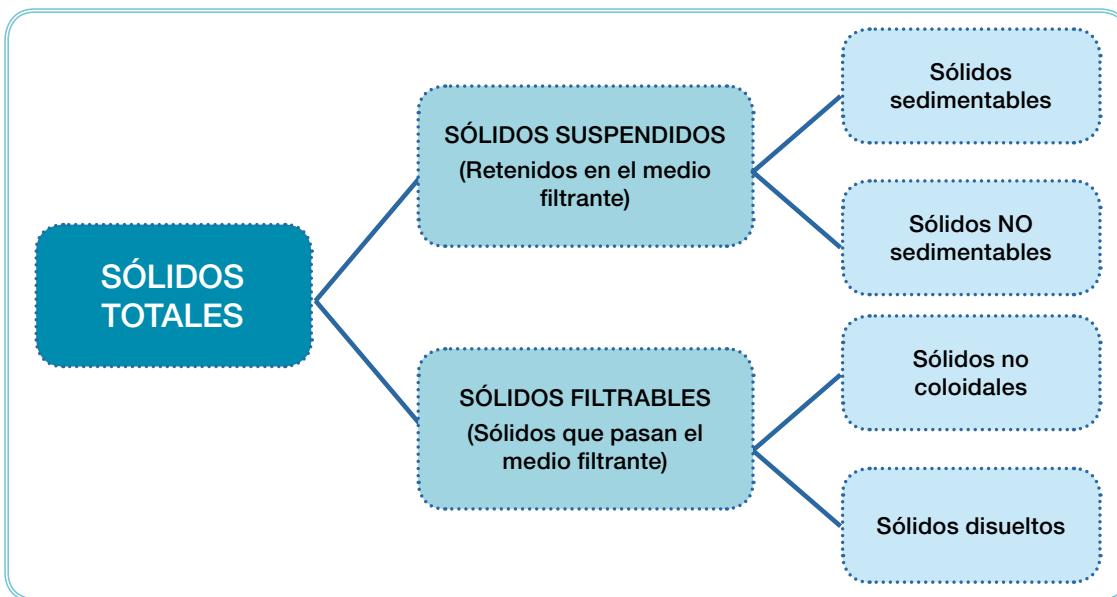


Figura 14. Clasificación de sólidos, según el tamaño de partículas

Fuente: Metcalf, 1996

2.3.1.2 Sólidos suspendidos sedimentables (S.Sed.)

Los sólidos sedimentables son una fracción de los sólidos suspendidos; tienen la propiedad de sedimentar o depositarse en el fondo del recipiente o estructura que los contiene; para calcular la cantidad de estos, se utiliza un cono Imhoff en el que se deben colocar 1.000 ml (1 litro) de agua residual y esperar una hora; una vez concluido el tiempo, se procede a realizar la lectura del resultado.

Para conocer la cantidad de sólidos sedimentables, basta con determinar el valor de la escala del cono Imhoff que coincide con el nivel del lodo, las unidades de esta medida son ml/l. La figura 15, brinda una idea de cómo realizar la lectura de la medición, una vez finalizado el tiempo de la prueba.

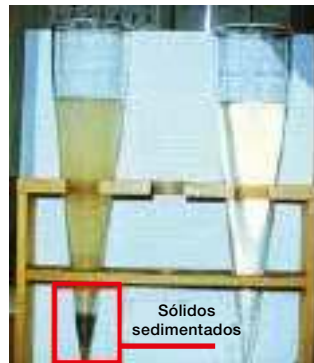


Figura 15. Medición de sólidos sedimentables en una muestra de agua residual

Fuente: Características del agua residual: Sólidos (s.f.)

2.3.1.3 Temperatura (T)

La temperatura del agua es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto acerca del desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones de biodegradación, así como sobre la aptitud del agua para ciertos usos útiles. Por ejemplo, la temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana se sitúa entre los 25°C y los 35 °C.

Es preciso tener en cuenta que un cambio brusco de temperatura puede conducir a un fuerte aumento en la mortalidad de la vida acuática. Además, las temperaturas anormalmente elevadas pueden dar lugar a una indeseada proliferación de plantas acuáticas y hongos.

Para la medición de temperatura se utilizan termómetros, sondas o equipos electrónicos compactos que permiten calcular varios parámetros simultáneamente, como los pHmetros, oxímetros, fotómetros y otros equipos multiparamétricos. En la figura 16 se indican algunos ejemplos de los equipos utilizados para la medición de pH.

El procedimiento es sencillo, se puede realizar in situ, es decir en el lugar o punto del sistema donde se requiera la medición o se toma una muestra y se lleva a un laboratorio, esto dependerá del equipo de trabajo disponible. Para realizar la medición se toma el termómetro o sonda y se introduce en la muestra de agua residual, se espera unos minutos a que la lectura se estabilice y se anota el valor, la unidad de medida es en grados Celsius °C.

En el caso de los equipos multiparamétricos es posible que el valor de temperatura se despliegue en la pantalla y no se requiere esperar un tiempo adicional para estabilizar la temperatura.



Figura 16. Equipos de medición utilizados en la medición de temperatura
Fuente: Medidor de temperatura, 2015

2.3.2 Características químicas

Las características químicas de las aguas residuales vienen definidas por sus componentes orgánicos, inorgánicos y gaseosos. Son de interés las que se describen a continuación:

2.3.2.1 Grasas y aceites (GyA)

En las aguas residuales de tipo ordinario, sin componente industrial, la presencia de grasas y aceites suele ser baja, lo que no evita que puedan provocar problemas tanto en la red de alcantarillado como en las plantas de tratamiento. Si no se elimina el contenido en grasa antes del vertido del agua residual, puede interferir con los organismos existentes en las aguas superficiales y crear películas y acumulaciones de materia flotante desagradables, impidiendo, determinadas ocasiones, la realización de actividades como la fotosíntesis, respiración y transpiración.

Se originan por el uso de manteca, margarinas, mantequillas y aceites en la preparación de alimentos principalmente; además, el uso de jabones también aporta un porcentaje de grasas al agua residual.

El contenido de grasas y aceites presentes en el agua residual ordinaria se puede determinar mediante procesos de extracción o separación a nivel de laboratorio.

2.3.2.2 Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)

Son moléculas orgánicas sintéticas, empleadas para la elaboración de detergentes. Su presencia es cada vez mayor en las aguas residuales y el problema más grave que causan es la formación de espumas y aporte de nutrientes, por ejemplo fósforo (P), tanto en las plantas de tratamiento como en la superficie de los cuerpos receptores de la descarga de agua residual (Metcalf y Eddy, 1996). Estas sustancias no se degradan fácilmente, su remoción depende de la tecnología empleada para el tratamiento de las aguas.

2.3.2.3 Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_{5,20})

La demanda bioquímica de oxígeno se refiere a la cantidad de oxígeno disuelto (mg O₂/l) que es necesario para oxidar biológicamente la materia orgánica de las aguas residuales; es decir, es la

cantidad de oxígeno que van a necesitar los microorganismos para transformar biológicamente los contaminantes presentes en el agua residual, en sustancias menos dañinas y de fácil asimilación por el cuerpo receptor.

Cuanto mayor es el grado de contaminación orgánica, mayor es el valor de la DBO. Paralelamente, a medida que se estabiliza, la materia orgánica decrece la DBO. (Hirschfeld, 2012).

Esta prueba está ligada a un tiempo y a una temperatura. El tiempo de duración del ensayo es de cinco días a una temperatura de 20°C, por eso es común abreviar la prueba de la siguiente forma: DBO_{5,20}. Bajo estas condiciones, se espera un consumo aproximado del 70% de la materia biodegradable presente en el agua residual.

2.3.2.4 Demanda química de oxígeno (DQO)

Se refiere a la cantidad de oxígeno (mg O₂/l) necesario para oxidar los componentes del agua residual recurriendo a reacciones químicas se denomina demanda bioquímica de oxígeno (DQO), haciendo referencia al oxígeno que es consumido en las reacciones que transforman los contaminantes del agua residual en nutrientes, gases o sustancias inertes.

En general, la DQO es más alta que la DBO_{5,20}, debido a que un mayor número de compuestos pueden ser oxidados químicamente que biológicamente. (Metcalf y Eddy, 1996)

Una ventaja importante en relación a la prueba de DQO es que se requieren pocas horas para su determinación y no cinco días; además, permite fácilmente establecer una correlación con la DBO_{5,20} de un agua residual particular.

Por ejemplo, las aguas residuales ordinarias de manera característica presentan una relación DBO_{5,20}/DQO en el rango de 0.4-0.8 según Metcalf y Eddy, 1996.

La comparación de los resultados de la DBO_{5,20} y el DQO indica la biodegradabilidad del agua; por ejemplo, una relación DBO_{5,20}/DQO cercana a uno podría indicar un residuo muy biodegradable; por el contrario, un valor cercano a cero indicaría un residuo muy poco biodegradable (Crites, 2002, p.68). Además, esa relación DBO_{5,20}/DQO permite evaluar el desempeño de las unidades de tratamiento.

2.3.2.5 Potencial de hidrógeno, pH

Se refiere a la concentración de iones hidrogeno (H⁺) y es una indicación sobre la condición de acidez, neutralidad o alcalinidad del agua residual.

“El intervalo adecuado de pH para la existencia de la mayor parte de la vida biológica es relativamente estrecho entre 5-9”. (Crites, 2002, p.49)

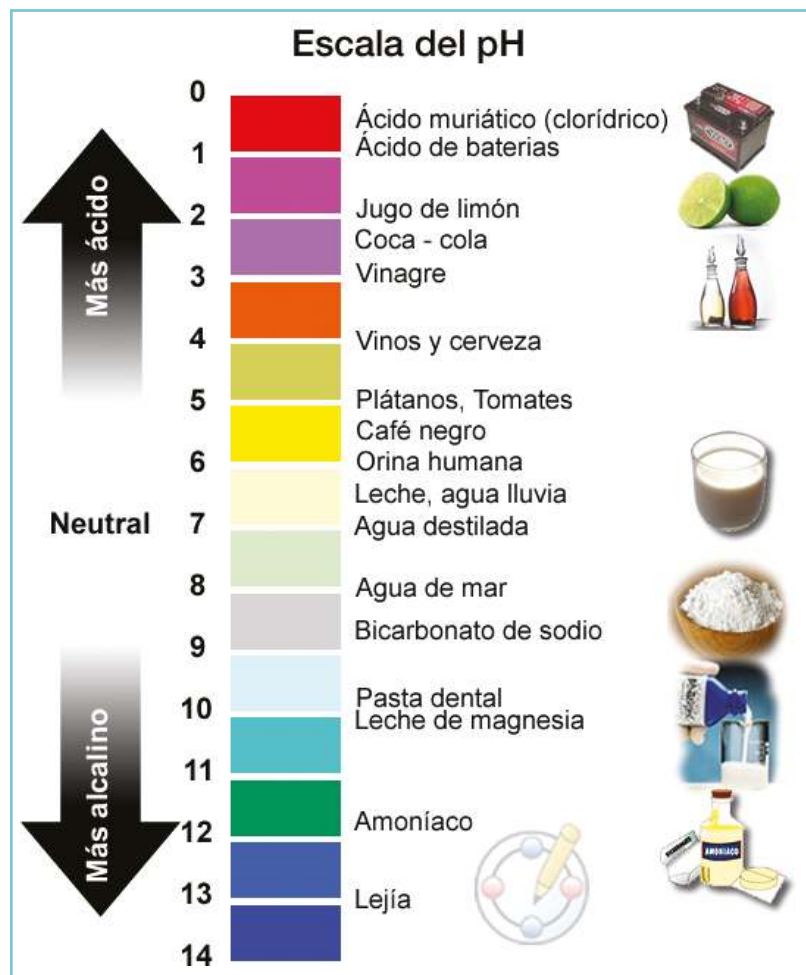


Figura 17. Valores típicos de pH de algunas sustancias.
Fuente: El pH en nuestra vida, 2010

El control de este parámetro es importante porque:

Los valores alejados de la neutralidad –un valor de 7, por ejemplo–, pueden afectar la vida acuática y los microorganismos responsables del tratamiento biológico o biodegradación de las aguas residuales.

Valores bajos de pH (acidez), favorecen la corrosión de tuberías y valores altos de pH (alcalinos), propician la incrustación en tuberías y precipitación de metales.

Se debe aclarar que el control de este parámetro, se requiere tanto para el agua residual cruda como para el efluente tratado, para evitar impactos negativos en el medio receptor.

El valor del pH se puede medir de forma precisa mediante un peachímetro o por medio de indicadores ácidos o bases, como es el caso de las bandas indicadoras que presentan una coloración diferente según el pH de la muestra que se esté analizando.

El procedimiento de medición de pH es muy sencillo, únicamente se introduce ya sea la sonda del peachímetro o el papel tornasol en la muestra que se requiere analizar, se espera unos segundos y se realiza la lectura de la medición. El peachímetro despliega en la pantalla el resultado directamente; para conocer el resultado obtenido con el papel tornasol, es necesario retirar el papel de la muestra, esperar unos segundos para que se seque un poco y luego comparar la escala de colores resultante,

con la escala que viene en el empaque del papel tornasol; donde se aprecie una mayor coincidencia de tonos, ese será el resultado obtenido.

Por ejemplo, en el caso de la ilustración que aparece en la siguiente figura 18, el resultado de pH se podría interpretar como un valor en el rango de 5 a 6, según los tonos del papel indicador comparados con la escala de tonos del empaque.



Figura 18. Equipos para medición de pH
Fuente: El pH, 2013

2.3.2.6 Otras características químicas de interés

Adicionalmente el conocimiento de características químicas como la concentración de nutrientes como nitrógeno y fósforo, y la concentración de oxígeno disuelto en el agua residual, adquieren importancia en el análisis de temas que se mencionarán en capítulos posteriores, por lo que serán retomadas en ese momento.

2.3.3 Características biológicas

Los principales microorganismos encontrados en las aguas residuales son las bacterias, los protozoos, las algas, los hongos e, incluso, los organismos de tamaño ultramicroscópico, como los virus.

Es sabido que los microorganismos siempre han estado ligados a la salud y bienestar humanos, algunos son beneficiosos, otros no. A manera de ejemplo de microorganismos beneficiosos tenemos los responsables de la biodegradación de la materia orgánica en las plantas de tratamiento de aguas residuales y tanques sépticos, los que se utilizan en la producción de yogur, en bebidas alcohólicas, en el control de plagas y en la elaboración de medicamentos, entre otras aplicaciones.

Sin embargo, también existen los organismos patógenos, los cuales pueden transmitir o causar enfermedades. Estos organismos están presentes en las aguas residuales y pueden tener su origen en las heces de seres humanos que están infectadas o que son portadoras de una enfermedad particular.

Debido a que la identificación de los organismos patógenos es compleja, para determinar el grado de contaminación fecal de una muestra de agua residual se ha fijado como indicador el grupo de los coliformes fecales debido a su número y facilidad de ensayo.

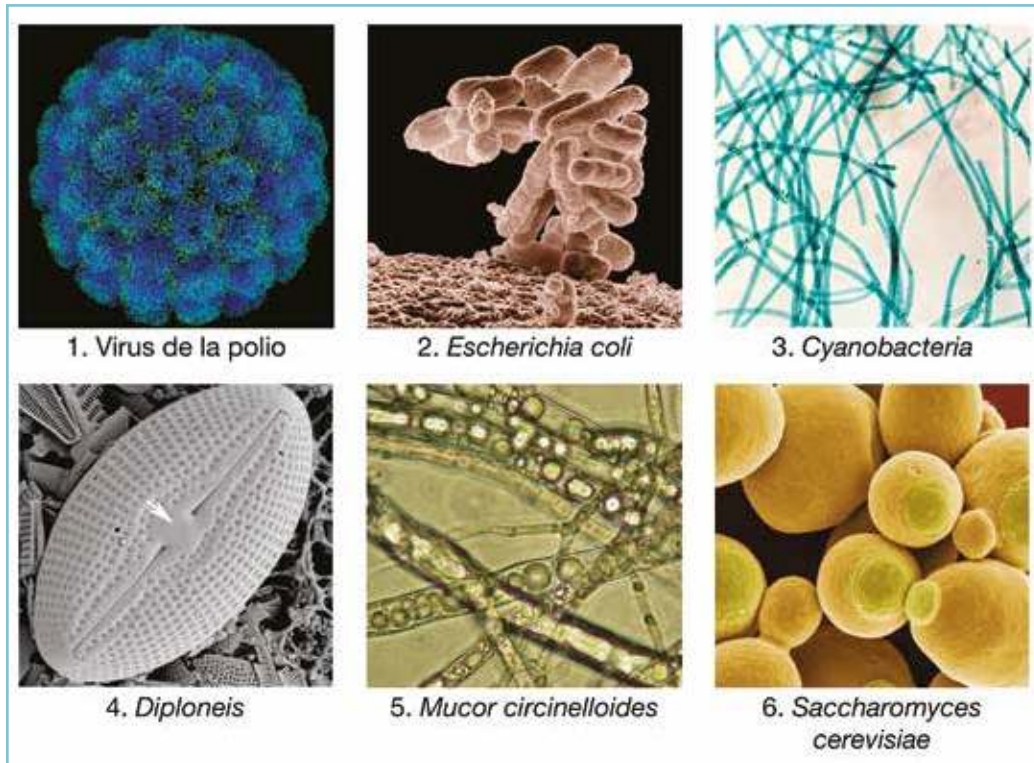


Figura 19. Ejemplos de microorganismos: 1. Virus; 2. y 3. Bacterias; 4. Alga; 5. y 6. Hongos.

Fuente: 1. <https://www.thinglink.com/scene/618211558694060032>, 2. https://es.wikipedia.org/wiki/Escherichia_coli, 3. [https://es.wikipedia.org/wiki/Cyanobacteria#/media/File:Tolypothrix_\(Cyanobacteria\).JPG](https://es.wikipedia.org/wiki/Cyanobacteria#/media/File:Tolypothrix_(Cyanobacteria).JPG), 4 Sarah Spaulding, 5. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Mucor_circinelloides2.jpg, 6. http://finedininglovers.cdn.crosscast-system.com/BlogPost/xl_2116_yeast-tp.jpg

Sin embargo, también existen los organismos patógenos, los cuales pueden transmitir o causar enfermedades. Estos organismos están presentes en las aguas residuales y pueden tener su origen en las heces de seres humanos que están infectadas o que son portadoras de una enfermedad particular.

Debido a que la identificación de los organismos patógenos es compleja, para determinar el grado de contaminación fecal de una muestra de agua residual se ha fijado como indicador el grupo de los coliformes fecales debido a su número y facilidad de ensayo.

Usualmente, los coliformes fecales son medidos en sistemas de abastecimiento de agua para asegurar su potabilidad, en otro sentido, con respecto a las aguas residuales son medidos en aguas que serán reutilizadas de alguna forma.

Conceptos de interés

Agente contaminante: toda aquella sustancia cuya incorporación al agua conlleva al deterioro de su calidad física, química o biológica. (Reglamento de Vertido y Reuso de Agua Residuales, N° 33601-MINAE-S, 2007)

Biodegradación: Capacidad que tienen algunas sustancias químicas de poder ser utilizadas como alimento por los microorganismos, para transformarlos en nuevos microorganismos, tejido celular, producción de energía, y otras sustancias químicas más estables y con menor impacto negativo. (Biodegradabilidad, 2015).

Cuerpo de agua: quebrada, río, lago, laguna o mar. (Reglamento de Vertido y Reuso de Agua Residuales, N° 33601-MINAE-S, 2007)

Caudal: Volumen de un líquido que pasa por un punto en un tiempo. (Reglamento de Vertido y Reuso de Agua Residuales, N° 33601-MINAE-S, 2007)

Red de alcantarillado: Red pública de tuberías que se utilizan para recolectar y transportar líquidos. (Reglamento de Vertido y Reuso de Agua Residuales, N° 33601-MINAE-S, 2007)

Alcantarillado pluvial: Red pública de tuberías que se utilizan para recolectar y transportar las aguas de lluvia hasta su punto de vertido. (Reglamento de Vertido y Reuso de Agua Residuales, N° 33601-MINAE-S, 2007)

Alcantarillado sanitario: Red pública de tuberías que se utilizan para recolectar y transportar las aguas residuales hasta su punto de tratamiento. (Reglamento de Vertido y Reuso de Agua Residuales, N° 33601-MINAE-S, 2007)

Material biodegradable: aquellos materiales que se degradan sin necesidad de químicos o procesos humanos, ya que sirven de alimento a las bacterias, hongos y demás organismos que van limpiando estos materiales de la tierra como también al ser expuestos al sol o al agua. (Hirschfeld, 2012)

Materia coloidal y disuelta: este tipo de sólidos no sedimenta, ni flotan, cuando se tiene una muestra de agua en reposo, son partículas muy finas que no se pueden separar fácilmente del agua, se requieren procesos químicos para lograr esto. (Metcalf y Eddy, 1996)

Materia suspendida: sólidos visibles y de mayor tamaño, que pueden ser retenidos por medio físicos o mecánicos. (Metcalf y Eddy, 1996)

Materia sedimentables: sólidos que después de un tiempo de reposo se depositan en el fondo del recipiente que contiene la muestra, son eliminados fácilmente por procesos físicos y químicos. (Metcalf y Eddy, 1996)

Cuerpo receptor: es todo aquel manantial, zonas de recarga, río, quebrada, arroyo permanente o no, lago, laguna, marisma, embalse natural o artificial, canal artificial, estuario, manglar, turbera, pantano, agua dulce, salobre o salada donde se vierten aguas residuales. (Reglamento de Vertido y Reuso de Agua Residuales, N° 33601-MINAE-S, 2007).

Micra: El micrón, micra o más correctamente micrómetro (1 μm), es una unidad de medida que representa la milésima porción del milímetro, o sea 0.001 mm, o referido al metro, su millonésima porción (10^{-6}). Una micra es muy pequeña para ser vista por el ojo humano sin ayuda; por

ejemplo, el cabello humano suele medir entre 30 y 50 micras de diámetro. Los ácaros del polvo miden unas 400 micras de largo. El del ojo humano tiene un límite para ver partículas de hasta 100 micras (Micras o micrones, 2015).

Sedimentación: es un proceso físico de separación de mezcla que se basa en la diferencia de densidades entre los dos componentes, que hace que dejados en reposo, ambos se separen hasta situarse el más denso en la parte inferior del envase que los contiene (Metcalf y Eddy, 1996).

Oxidación biológica: La oxidación biológica es el mecanismo mediante el cual los microorganismos degradan la materia orgánica contaminante del agua residual. De esta forma, estos microorganismos se alimentan de dicha materia orgánica en presencia de oxígeno y nutrientes (Metcalf y Eddy, 1996).

Materia orgánica + Microorganismos + Nutrientes + O₂ => Productos Finales + Nuevos microorganismos + Energía

Fotosíntesis: Se designa con el término de fotosíntesis al proceso a través del cual las plantas, las algas y algún tipo de bacteria captan la energía de la luz que emana el sol y la utilizan para transformar la materia inorgánica de su medio externo, en materia orgánica que les resultará fundamental a la hora de su crecimiento y desarrollo. (Definición de Fotosíntesis, 2007)

Transpiración: La transpiración es la evaporación de agua en un ser vivo. Tanto plantas como animales transpiran. (Transpiración, 2015).

Vertido: es la descarga final de un efluente a un cuerpo receptor o alcantarillado sanitario. (Reglamento de Vertido y Reuso de Agua Residuales, N° 33601-MINAE-S, 2007)



CAPÍTULO 3.

Sistemas de tratamiento individual para aguas residuales ordinarias

3.1 Introducción

El tratamiento del agua residual permite reducir la cantidad y la concentración de los contaminantes presentes en ella, dando como resultado un efluente apto para descargar a un medio receptor, lo que implica una disminución de los posibles riesgos para salud y el medio ambiente.

De acuerdo con el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales, un sistema de tratamiento de agua residual se define como: *“un conjunto de procesos físicos, químicos o biológicos, cuya finalidad es mejorar la calidad del agua residual a la que se aplican”*.

La selección de un proceso de tratamiento de aguas residuales depende, principalmente, de las características del agua cruda, la calidad requerida del efluente, la disponibilidad de terreno, los costos de construcción y operación del sistema de tratamiento, y la confiabilidad del sistema de tratamiento.

En Costa Rica se utilizan sistemas individuales de tratamiento y sistemas colectivos, donde los primeros son de mayor aplicación, siendo la tecnología de tanque séptico la de mayor uso. (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, 2015)

El presente capítulo brinda información de tecnologías de tratamiento utilizadas en sistemas individuales, como el tanque séptico, la infiltración al terreno, los filtros anaerobios, los humedales artificiales y los lodos activados compacto.



Figura 20. Disposición de las aguas residuales en Costa Rica.
Fuente: Encuesta Nacional de Hogares, Instituto Costarricense de Estadística y Censos, 2015.

3.2 Sistema individual para el Tratamiento de Aguas Residuales Ordinarias

Los sistemas individuales para el tratamiento de residuos líquidos o agua residual, son una o varias unidades que, por etapas, mejoran la calidad del agua, removiendo los elementos contaminantes que se le agregaron, antes de hacer su vertido o descarga en un medio cercano a la vivienda, o infiltración al terreno, reduciéndose significativamente el impacto negativo que se podría producir al medio ambiente. (Rosales, 2003 p.4)

El proceso de saneamiento aplicado en los sistemas individuales de tratamiento, involucra las etapas de evacuación, tratamiento y disposición final, en este caso no se requiere alcantarillado sanitario ya que estos sistemas se instalan en las cercanías de la fuente generadora (vivienda o inmueble).

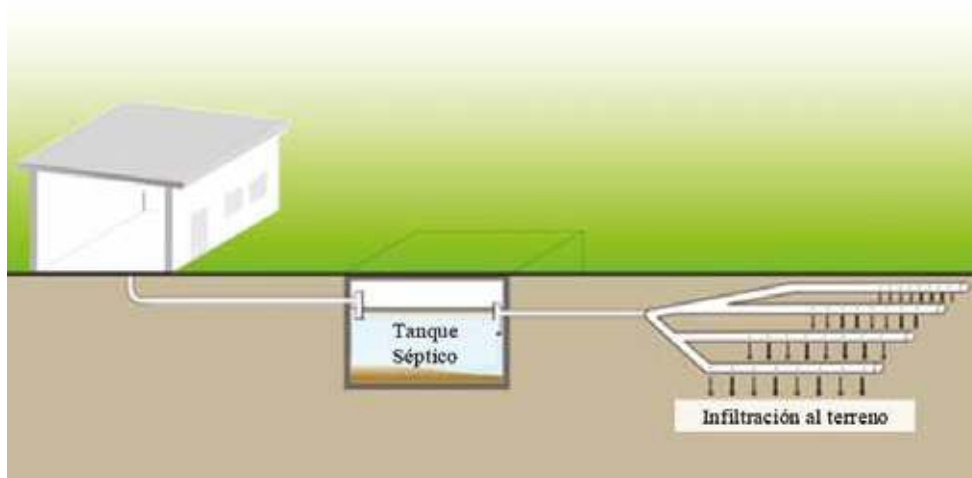


Figura 21. Ilustración de un sistema individual de tratamiento.
Fuente: Tilley, 2010

El ente generador o dueño del inmueble es el responsable directo de la operación y mantenimiento adecuado del sistema de tratamiento, así como de la disposición idónea de los residuos sólidos resultantes. Algunas tecnologías implementadas en sistemas de tratamiento individual son descritas a continuación.

3.3 Tanques sépticos

Los tanques sépticos son unidades que sirven para retener los residuos líquidos o agua residual ordinaria, por un tiempo establecido, de modo que permitan la sedimentación de los sólidos y retención de grasas, transformándolos, en sustancias y compuestos más simples y estables. (Hirschfeld, 2012 p. 87).

En la figura 22 se muestran dos estructuras de tanque séptico prefabricadas, para aplicación como sistemas individuales de tratamiento.



Figura 22. Imágenes de tanques sépticos prefabricados.
Fuente: <http://www.ehowenespanol.com/> <http://www.ecoportail.net/>

Para aplicar esta tecnología es necesario realizar previamente estudios de infiltración del terreno y conocer la capacidad de infiltración que tiene el suelo, ya que este proceso de tratamiento como solución individual, requiere la instalación de un sistema de drenaje complementario que permita continuar con la biodegradación de la materia disuelta presente en el agua residual y, a la vez, proporcione un medio adecuado donde disponer el efluente tratado.

Por lo tanto, el proceso de tratamiento que se desarrolla en un tanque séptico implica dos etapas, la primera de ellas tiene lugar en el tanque e incluye algunos procesos que serán detallados a continuación; la segunda etapa sucede en el drenaje. En el tanque ocurren las siguientes etapas:

- I. Sedimentación y flotación, como resultado de la acción de la gravedad se separan los sólidos sedimentables que hay en las aguas residuales de los flotantes, incluyendo aceites y grasas que van formando una capa sobre la superficie líquida. La capa intermedia entre lodos y flotantes constituye el agua residual tratada parcialmente. En la figura 23 se ilustra este proceso.
- II. La segunda etapa que se lleva a cabo en el tanque séptico, es el proceso biológico que tiene lugar en el fondo del tanque donde se acumula la fracción orgánica de sólidos, estos experimentan reacciones de degradación anaerobia, o sea sin presencia de oxígeno, reduciendo su volumen y desprendiendo biogás, que es una mezcla de metano (CH_4) y dióxido de

carbono (CO_2) principalmente, y en mucha menor cantidad compuestos con azufre (ácido sulfhídrico, mercaptanos, etc.), principales responsables de los olores desagradables que se desprenden, por esta razón es importante la instalación de tuberías de ventilación. (Aragón, Ferrer, Ortega de Miguel, Real y Salas, 2010 p. 89).

De acuerdo con lo anterior, es posible definir cuatro zonas o secciones en el interior de un tanque séptico, que son:

1. Zona de almacenamiento: se encuentra en el fondo de la unidad y es donde se acumulan los sólidos gruesos y lodos.
2. Zona de sedimentación: sección intermedia donde se ubican los líquidos con materia orgánica disuelta.
3. Zona de flotación: se ubica en la parte superior de la zona intermedia, aquí se encuentran las grasas y natas.
4. Zona gaseosa: espacio libre en la parte superior donde se encuentran los gases producidos por el proceso anaerobio de biodegradación y son liberados a través del sistema de ventilación.

En la figura 23 se indican las zonas involucradas en el proceso de tratamiento de un tanque séptico.

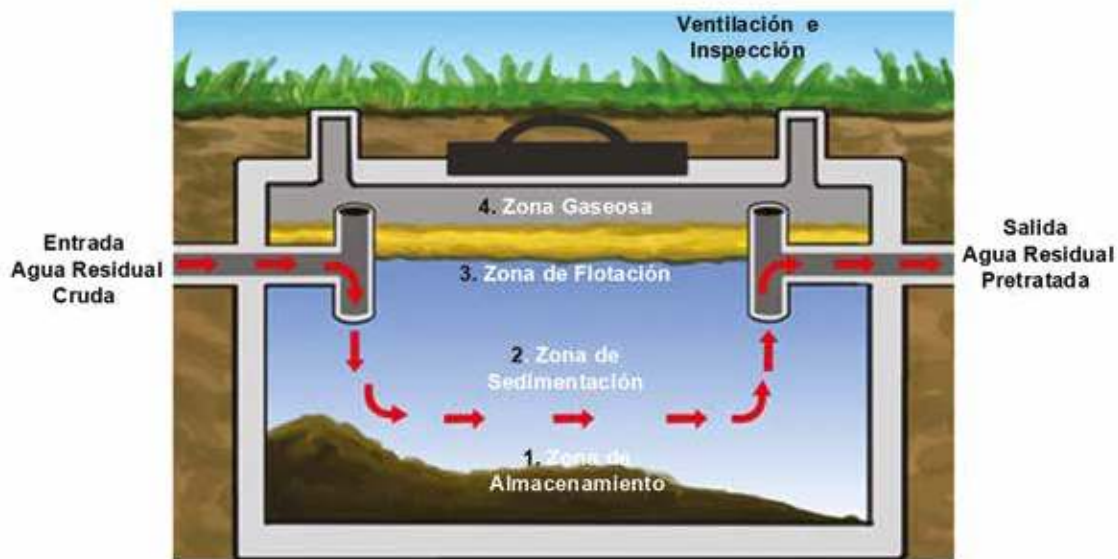


Figura 23. Zonas en un tanque séptico.

Fuente: Cómo cuidar un sistema séptico, s.f.

La etapa complementaria del proceso de tratamiento de un tanque séptico, generalmente, es la referente al proceso de biodegradación que se experimenta en el sistema de drenaje.

En un sistema complementario de drenaje se presentan dos situaciones (Rosales 2003, p.9):

1. La continuación del proceso de biodegradación de la materia disuelta del efluente del tanque séptico, por medio de las bacterias adheridas en las piedras o medio filtrante utilizado.
2. La capacidad de infiltración del terreno existente que permite la infiltración del efluente tratado al subsuelo.

En los casos donde los resultados de la prueba de infiltración indiquen que el terreno en estudio no es apto para instalar un drenaje, es necesaria la construcción de un sistema de tratamiento completo que permita alcanzar eficiencias de remoción mayores y, por lo tanto, efluentes tratados que cumplan con el Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales. En este caso se requiere buscar alternativas para la disposición del efluente.

Para evaluar qué opción de tratamiento complementario al tanque séptico es más favorable utilizar, se deben analizar factores como los costos de la inversión inicial, de operación y mantenimiento, los requerimientos de terreno, la capacidad de tratamiento, la disposición final y las regulaciones legales vigentes.

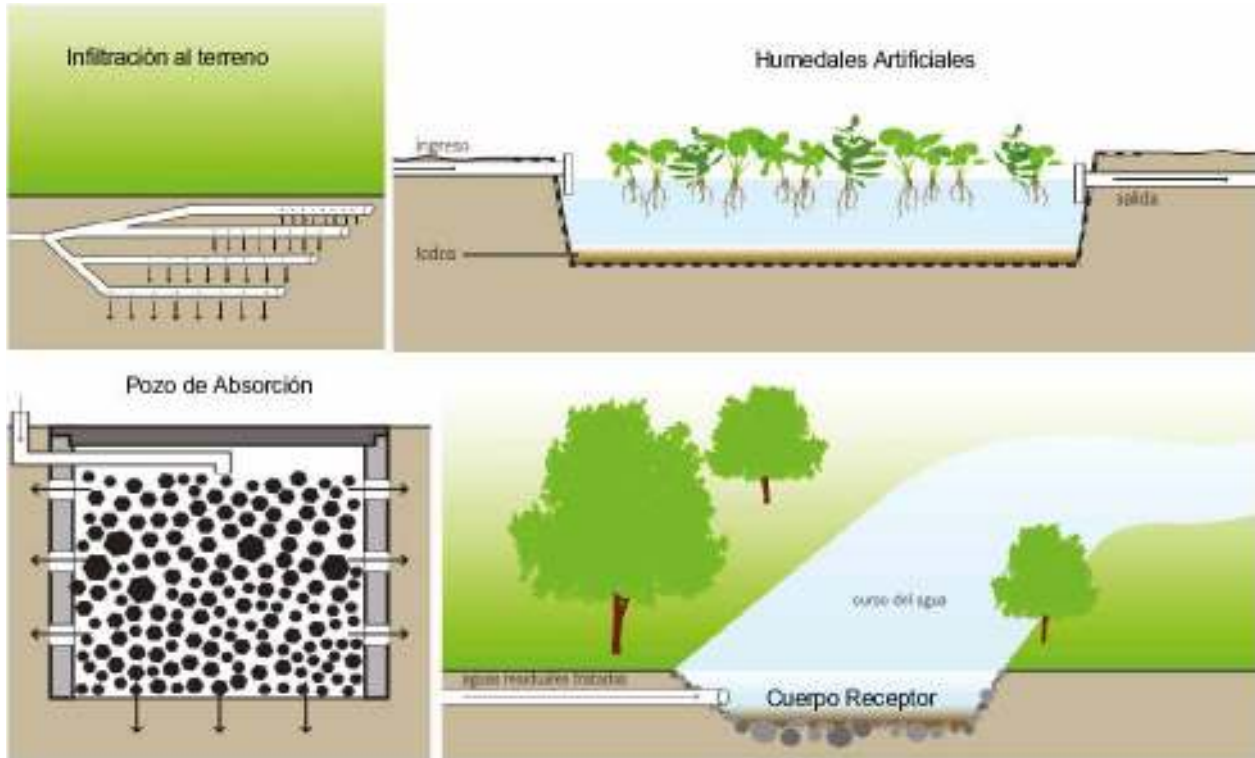


Figura 24. Métodos para disposición final en sistemas individuales de tratamiento.
Fuente: Tilley, 2010

Algunos aspectos a nivel de diseño que se deben tomar en cuenta para una adecuada operación de un tanque séptico y su respectivo sistema de drenaje, según el Ing. Elías Rosales, son:

1. Diseñar el tanque séptico y drenaje de acuerdo a cada caso, es decir, tomar en consideración la cantidad de habitantes de la vivienda, el tipo de agua residual, el periodo entre limpiezas del tanque, el espacio disponible, capacidad de infiltración del suelo, etc.
2. Aplicar los principios básicos de sedimentación y utilizar la relación 1:3 entre el ancho y la longitud, así como una profundidad mínima de 1 metro en los líquidos almacenados, para el diseño del tanque.
3. Asegurar la hermeticidad del tanque para alcanzar un óptimo proceso anaerobio.
4. El uso de materiales impermeables y resistentes a sustancias ácidas, esto debido a los gases que se forman producto del proceso anaerobio que tiene lugar en el tanque.

5. Instalación de accesorios para la evacuación de gases en el tanque como tuberías o dispositivos de ventilación.
6. Se recomienda que las tuberías de entrada y salida del tanque sean en forma de forma "T", para evitar en arrastre de sólidos suspendidos y natas.
7. Previo al tanque séptico se recomienda instalar una "trampa de grasas", la cual debe limpiarse, al menos, una vez al año y estar colocada cerca del área de cocina de la vivienda, la salida de esta trampa de grasas deber ser conectada al tanque séptico, esto se indica en el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica en su Artículo 7.63.
8. Que el material en el drenaje provea suficiente superficie para el desarrollo de la mayor cantidad de bacterias.
9. La infiltración de agua residual tratada en el terreno no debe provocar contaminación de mantos subterráneos de agua.

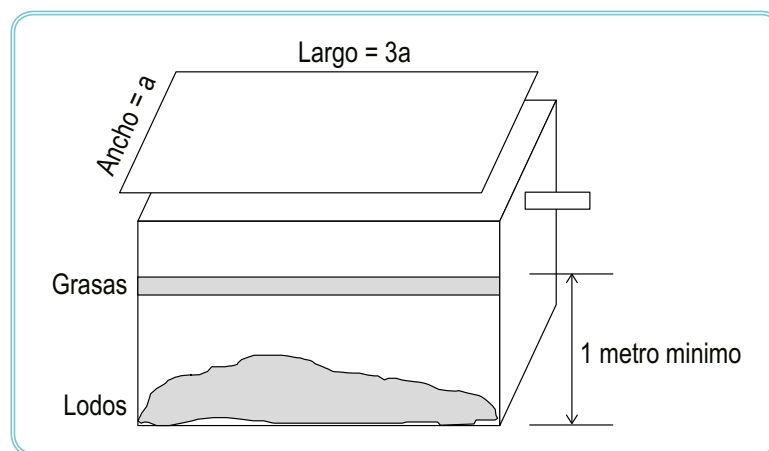


Figura 25 Diagrama explicativo de la relación ancho-largo.
Fuente: Rosales, 2003

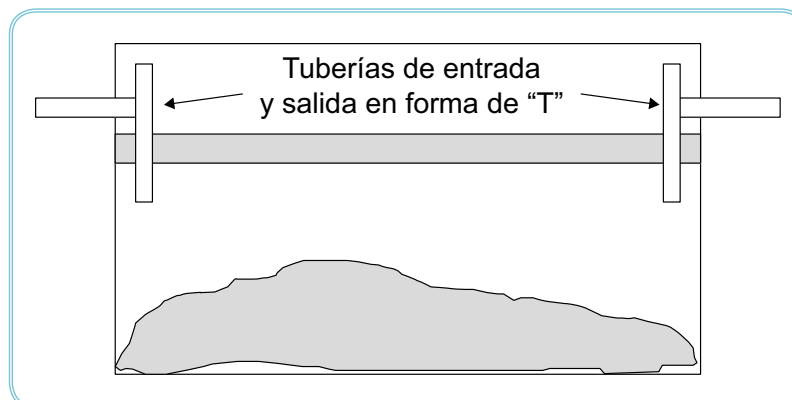


Figura 26. Ilustraciones de la instalación de tuberías en forma de "T", a la entrada y salida de un tanque séptico.
Fuente: Rosales, 2003

Para lograr una eficiente remoción de contaminantes y garantizar el buen estado del sistema de tratamiento de tanque séptico convencional, se requiere seguir algunos cuidados de mantenimiento:

1. **Inspección periódica:** se recomienda una vez por año, medir el nivel de la capa de lodos y de la capa de natas. Cuando las natas o los lodos estén cerca de las bocas inferiores de las “T”, será necesaria limpiarla.

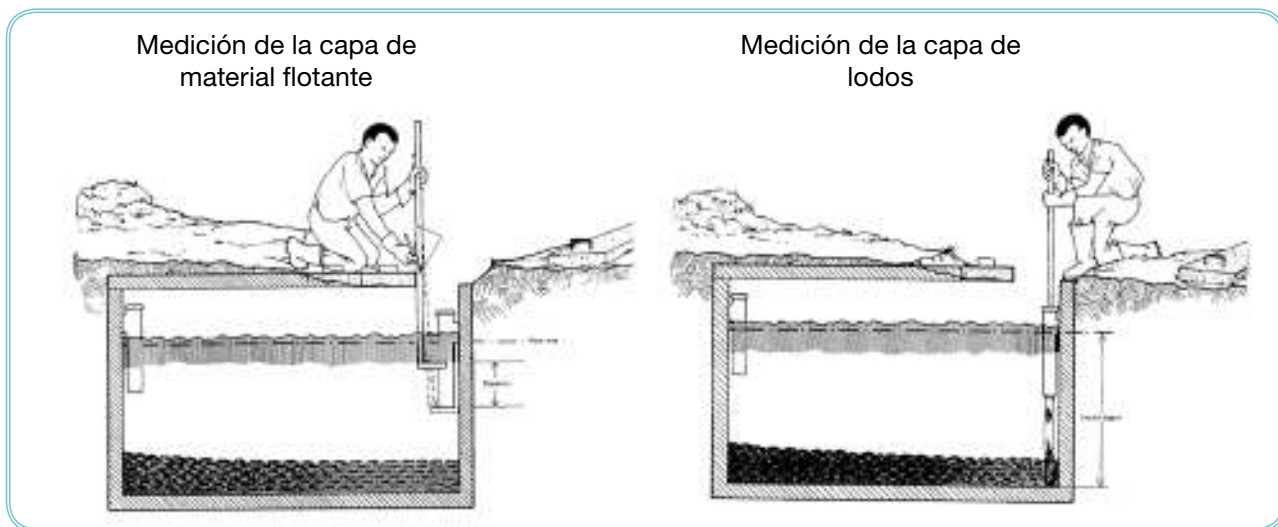


Figura 27. Esquema ilustrativo del procedimiento de inspección periódica.

Fuente: Rosales, 2003

2. **Limpieza:** se debe realizar la limpieza del tanque séptico una vez transcurrido el tiempo de almacenamiento para el cual fue diseñado o cuando una inspección indique la necesidad de llevar a cabo tal función, esta situación será cuando el nivel de natas o lodos se encuentre muy cerca de la tubería de salida (boca de la T de salida) y se pueda correr el riesgo de los lodos o natas se dirijan hacia el drenaje. Generalmente, el diseño de un tanque séptico se realiza para un tiempo de almacenamiento de cinco años. “Al realizar la limpieza de un tanque séptico se debe extraer solamente un 80% de su contenido, dejando el restante 20% de lodo, como reserva de bacterias vivas adaptadas que permitan continuar con el funcionamiento del sistema de tratamiento”, (Rosales, 2003 p.25).
3. **Disposición final lodos:** al realizar la extracción de lodos y natas de un tanque séptico, se debe tener en cuenta que estos residuos requieren un tratamiento posterior para luego ser dispuestos en un relleno sanitario. La razón de lo anterior se justifica porque al realizar la extracción del lodo del tanque, se saca el lodo viejo que puede estar muy estabilizado, así como lodo joven de reciente ingreso al tanque, el cual no tiene el tiempo suficiente de retención, para completar su proceso de biodegradación.

El proceso de limpieza de tanque séptico se lleva a cabo por empresas privadas o tanqueros, las cuales posteriormente deben transportar estos residuos a sistemas de tratamiento para lodos de tanques sépticos y de esta forma asegurar una adecuada disposición final.

Es necesario verificar que tanto los transportistas como las empresas responsables de los sistemas de tratamiento cuenten con el respectivo permiso de funcionamiento otorgado por el Ministerio de Salud.

El desconocimiento de lo anterior y la mala práctica a la hora de evacuar estos residuos en sitios no autorizados, está regulado por el Reglamento de Vertido y Reuso de Agua Residual, donde en el capítulo VII Prohibiciones, artículo 63, dice lo siguiente: “Se prohíbe el vertido de lodos provenientes

de sistemas de tratamiento de aguas residuales, sistemas de potabilización de aguas y de tanques sépticos a los cuerpos de agua y alcantarillado sanitario”.

“Depositar los residuos líquidos y lodos extraídos de un tanque séptico a un río o sitio semejante, es una acción directa y grave de contaminación”, (Rosales, 2003 p.25).

Algunas ventajas y desventajas que implica la utilización de tanques sépticos convencionales como alternativa de tratamiento individual para aguas residuales ordinarias son:

Ventajas

- Larga vida útil.
- No hay problemas con moscas ni olores si es usada correctamente.
- Bajos costos de instalación, operación, mantenimiento y limpieza.
- No hay consumo de energía eléctrica.
- La operación y mantenimiento son labores sencillas de realizar.

Desventajas

- Se requiere realizar estudios previos de infiltración del terreno.
- Baja reducción de patógenos, sólidos suspendidos y materia orgánica disuelta.
- El efluente y los lodos requieren tratamiento posterior, un sistema de drenaje para el efluente y un tratamiento adicional del lodo y una disposición final apropiada.

Es posible que durante la operación de un tanque séptico se presenten problemas o inconvenientes, en el cuadro 1 se indican algunos ejemplos aportados por el Ing. Elías Rosales.

Cuadro 1. Problemas operacionales en tanques sépticos. (Fuente: Rosales, 2003)

Problema	Causa	Solución
<ul style="list-style-type: none"> • Olores cerca del tanque séptico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Deficiente ventilación del tanque séptico. • Vertido de sustancias tóxicas al tanque séptico. • Inadecuada colocación de las tapas de los registros del tanque séptico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar el sistema de ventilación. • Evitar el vertido de sustancias tóxicas en los dispositivos sanitarios por medio de la concientización de los usuarios. • Asegurar que las tapas de los registros se encuentren bien posicionadas.

Problema	Causa	Solución
<ul style="list-style-type: none"> Derrames alrededor del tanque séptico. 	<ul style="list-style-type: none"> Deficiente ventilación del tanque séptico. Vertido de sustancias tóxicas al tanque séptico. Inadecuada colocación de las tapas de los registros del tanque séptico. Colmatación del drenaje 	<ul style="list-style-type: none"> Mejorar el sistema de ventilación Evitar el vertido de sustancias tóxicas en los dispositivos sanitarios por medio de la concientización de los usuarios Asegurar que las tapas de los registros se encuentren bien posicionadas Hacer un drenaje nuevo porque el actual se encuentra obstruido por sólidos, grasas o aceites. Pueden dejarse conectados pero el drenaje obstruido no deberá recibir aguas por aproximadamente cuatro meses.

El efluente de un tanque séptico debe ser enviado a un tratamiento posterior ya que la eficiencia en remoción de contaminantes que se da al interior de esta unidad es baja; dentro de las tecnologías más comúnmente empleadas para este fin se encuentran las que involucran procesos de infiltración al terreno y filtros anaerobios, estos procesos se describen en los apartados siguientes, así como otras tecnologías utilizadas en sistemas de tratamiento individual. Se toman en cuenta para la descripción aspectos como, elementos que componen el proceso tratamiento, descripción del funcionamiento, factores a tomar en cuenta para una adecuada operación así como las rutinas de mantenimiento requeridas y ventajas o desventajas que pueden tener en relación con otros tratamientos.

3.4 Sistema de infiltración al terreno

Un sistema de infiltración es una red de tubos perforados, que son dispuestos en zanjas subterráneas rellenas de piedra para distribuir el efluente de agua residual proveniente de sistemas de tratamiento, el cual se puede dirigir por gravedad, o mediante equipo de bombeo, hacia cada una de las zanjas de infiltración instaladas, previo paso por una caja de distribución de flujos que asegure el envío de caudales similares del efluente hacia cada una de las zanjas. En la figura 28, se muestra un sistema de tratamiento individual que tiene como complemento un sistema de infiltración al terreno.

SISTEMA DE TRATAMIENTO INDIVIDUAL (Pretratamiento + tanque séptico + infiltración al terreno)

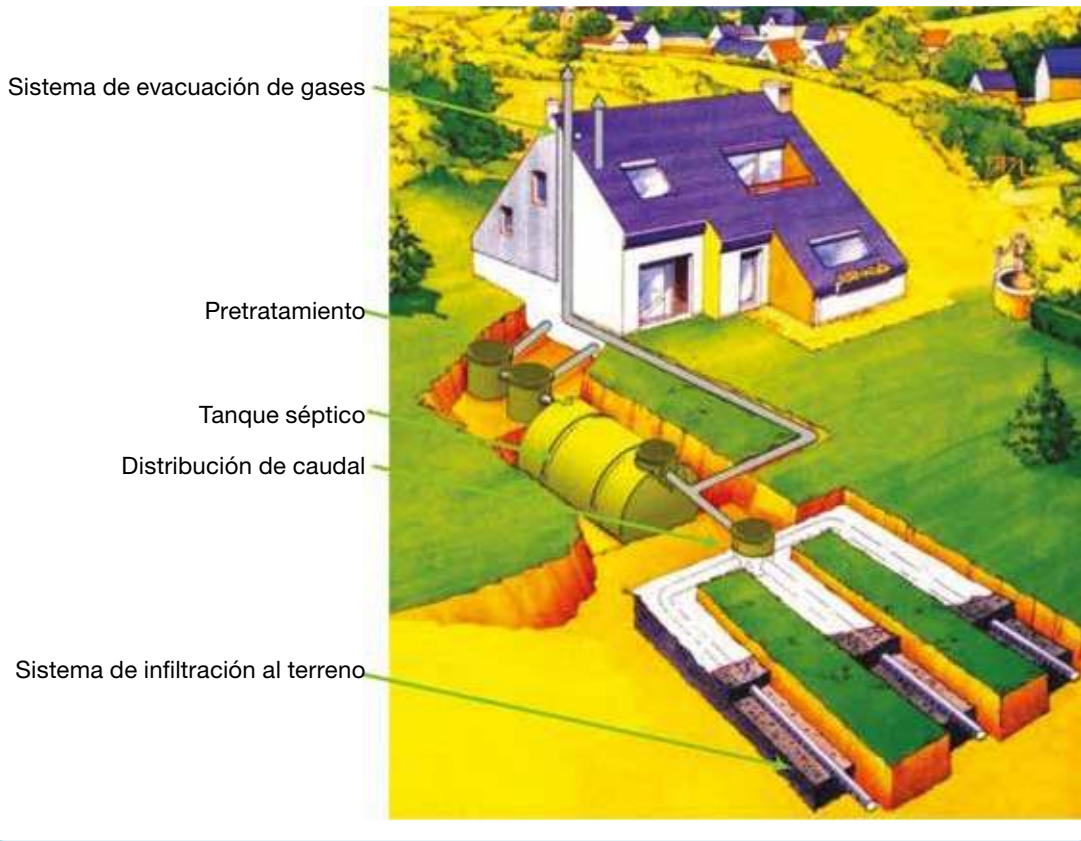


Figura 28. Ilustración de un sistema de infiltración al terreno, con tratamiento previo por medio de tanque séptico.

Fuente: Agua: sistema de riesgos, s.f.

Los sólidos en suspensión del efluente quedan retenidos en el drenaje. La formación de una película biológica en el medio filtrante se produce conforme las bacterias y demás microorganismos empiezan a crecer y crear colonias sobre el material particulado. El grosor de la película biológica crece a medida que los microorganismos llevan a cabo la biodegradación de la materia orgánica existente en el efluente.

Los componentes básicos de una zanja de infiltración son:

1. Tuberías de distribución (deben tener un diámetro igual o superior a 100 mm y deben estar constituidas por elementos rígidos en materiales resistentes provistos de perforaciones de un mínimo de 5 mm de diámetro).
2. Material de relleno, puede ser grava en diferentes tamaños (se rellenará la zanja con una capa de 0,15 m de espesor mínimo de grava de granulometría variable comprendida entre 20 y 50 mm, hasta obtener el nivel sobre el cual deben localizarse las tuberías de distribución).
3. Material para cubrir la zanja, tierra o arena (se recubrirá la tubería con una nueva capa de grava de manera que quede cubierta y deje una capa de 50 mm de espesor mínimo por encima del borde superior de la tubería).

Algunos aspectos que se deben tomar en consideración para instalar un sistema de infiltración al terreno, son:

- Las zanjas no se deben excavar cuando el suelo tiene altas concentraciones de humedad.
- Se deben cumplir las distancias mínimas a viviendas, tuberías de agua potable y pozos de abastecimiento, según Reglamento de Aprobación y Operación de Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- La profundidad de las zanjas y su ancho se determinará según diseño de acuerdo con la elevación del nivel freático, la tasa de infiltración y el caudal de la vivienda.
- Un sistema de Infiltración al terreno se debe disponer de manera que no interfiera con una futura conexión de desagüe.
- La tecnología de recolección que precede al sistema de Infiltración (por ejemplo un tanque séptico) debe estar equipada con una conexión de desagüe que en caso de requerir un reemplazo o cambio del sistema de infiltración, esta operación se pueda llevar a cabo con la mínima interrupción.

Un adecuado mantenimiento del sistema de infiltración incluye tareas como: operación óptima de la tecnología de tratamiento, limpieza o cambio de tubería en caso de detectarse una obstrucción y evitar el crecimiento de plantas con raíces profundas o árboles sobre el campo de infiltración así como el tránsito de vehículos pesados ya que esto puede provocar que se quiebren las tuberías o que se compacte el terreno.

La aplicación de sistema de infiltración trae consigo ventajas y desventajas, en general se pueden mencionar las siguientes:

Desventajas

- El sistema de infiltración requiere disponibilidad de terreno y que este posea una buena capacidad de absorción para distribuir efectivamente el efluente.
- Árboles y plantas de raíces profundas se deben mantener alejados del sistema de infiltración ya que pueden afectar la operación de filtración que ahí se desarrolla.

Ventajas

- Tiene una larga vida útil.
- Bajo costos de inversión inicial, operación y mantenimiento.
- Operación sencilla.

Según Sperling (2012, p. 353), los porcentajes de remoción esperados para un sistema de tratamiento individual compuesto por un tanque séptico seguido de un proceso de infiltración al terreno son:

DBO_{5,20}: 90-98%

DQO: 85-95%

SS: mayor a 93 %

3.5 Filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA)

Consiste en un tanque o cámara cerrada, compuesta por un lecho de piedra en donde el efluente proveniente del tanque séptico pasa de manera ascendente (de abajo hacia arriba), a través de una capa filtrante plástica o de piedras y la película biológica que se forma sobre la superficie de ellas. Esta tecnología de tratamiento realiza un trabajo de biodegradación anaerobia (sin presencia de oxígeno).

El relleno del tanque (lecho o medio filtrante) puede estar compuesto por estructuras plásticas u otros materiales, sin embargo por su bajo costo la grava es el medio filtrante de mayor uso.

Puede lograr reducciones de entre un 50 a 70% de DBO, sobre la remoción lograda previamente en el tanque séptico.

Estas unidades pueden estar unidas a manera de última cámara de un tanque séptico (lo que disminuye costos de construcción) o pueden ser unidades independientes (lo que facilita las labores de limpieza y mantenimiento). En la figura 29, se ejemplifica el primer caso.

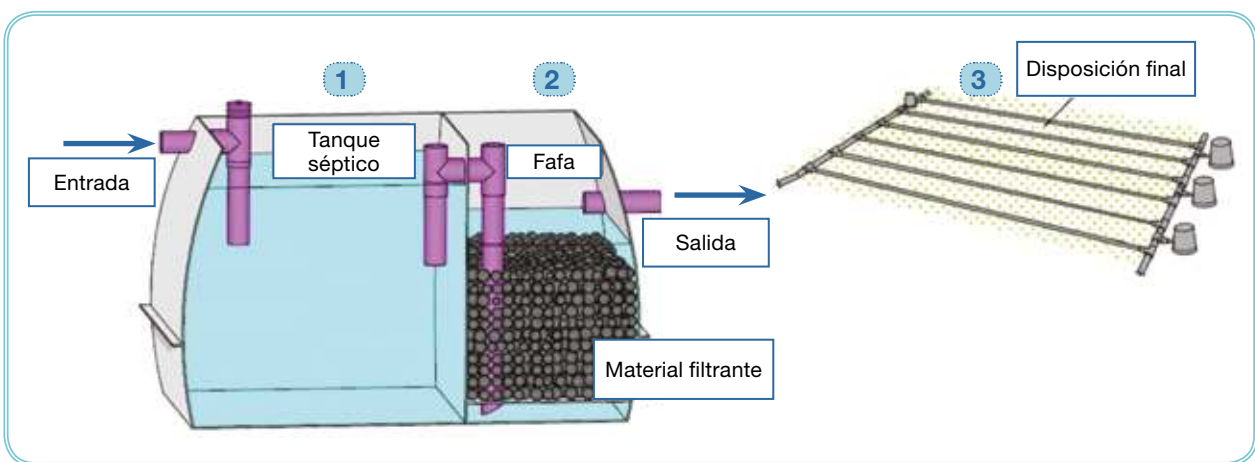


Figura 29. Conjunto de tanque séptico con filtro anaerobio de flujo ascendente unidos.

Fuente: Depuragua, s.f.

Algunos aspectos de operación y mantenimiento son las siguientes:

- El filtro demora de seis a nueve meses para trabajar con los rendimientos esperados según diseño.
- Se requiere la instalación previa de una unidad de sedimentación en caso de no existir un tanque séptico, para evitar que el filtro se obstruya con sólidos presentes en el agua residual.
- Cuando se observe que el efluente del filtro cambia, evidenciando pérdida de calidad (color del agua, sólidos visibles, olor, etc), se debe realizar la limpieza del material filtrante.

La instalación de este tipo de tecnología, va a requerir de una etapa de pretratamiento y tratamiento primario que incluyan la separación de sólidos gruesos y finos así como la separación de grasas y aceites, para garantizar un adecuado funcionamiento de las unidades siguientes.

En el siguiente cuadro 2 se indican algunas ventajas y desventajas, que tienen los filtros anaerobios de flujo ascendente.

Cuadro 2. Ventajas y desventajas de FAFA (Fuente: Tilley, 2010)

Ventajas	Desventajas
Resistente a cambios de carga orgánica.	Largo tiempo de arranque
Bajo consumo de energía.	Baja reducción de patógenos y nutrientes
Larga vida útil	Es una alternativa de mejoramiento de la calidad del efluente pero no una alternativa de disposición final, no sustituye al drenaje.
Costos de instalación, operación y mantenimiento moderados.	Requiere hábitos específicos de las viviendas, esto porque las grasas, aceites y residuos sólidos pueden acumularse en el lecho de piedra y obstruir el filtro. No deben disponerse restos de comida, grasas y aceites, o debe contarse con una trampa de grasas

Comúnmente esta configuración se define como Tanque Séptico Mejorado, esto pues mejora el tratamiento biológico del agua, sin embargo, el hecho de que se “limpie” más el agua que en un tanque séptico convencional no implicará que el terreno tendrá mayor capacidad de infiltración, es decir, el agua tendrá menor contenido de materia orgánica, pero la capacidad de infiltración del terreno será la misma.

3.6 Lodos activados

Los sistemas de lodos activados, constituyen una de las tecnologías de tratamiento más utilizadas, siendo de mayor aplicación en sistemas colectivos, sin embargo es posible encontrar sistemas pequeños o compactos para el tratamiento del agua residual de viviendas o inmuebles.

La instalación de este tipo de tecnología, va a requerir de una etapa de pretratamiento y tratamiento primario que incluyan la separación de sólidos gruesos y finos así como la separación de grasas y aceites, para garantizar un adecuado funcionamiento de las unidades siguientes.

Una vez que el agua residual es pretratada, esta se puede conducir a la etapa de lodos activados. El sistema de lodos activados, está compuesto por un tanque de aireación y un sedimentador secundario, básicamente, en la primera unidad el agua residual se pone en contacto con microorganismos que serán los responsables de la biodegradación de los contaminantes presentes.

Posteriormente en el sedimentador secundario, la mezcla de agua residual y lodo activado, se deja en reposo por unas horas para que los sólidos (lodo activado y otros) sedimenten y se acumulen en el fondo, y el agua residual tratada sea enviada a la siguiente etapa.

La sedimentación de los lodos se da por acción de la velocidad del agua y la formación de “flocs”, un floc es una unidad o masa formada por partículas de materia orgánica suspendidas en el agua junto con toda una ecología de microorganismos encargados de la descomposición de esa materia. Al formarse esta masa se gana densidad y el conglomerado (floc) al ser expuesto a una baja velocidad del agua puede sedimentarse fácilmente, es lo que sucede en el sedimentador secundario.

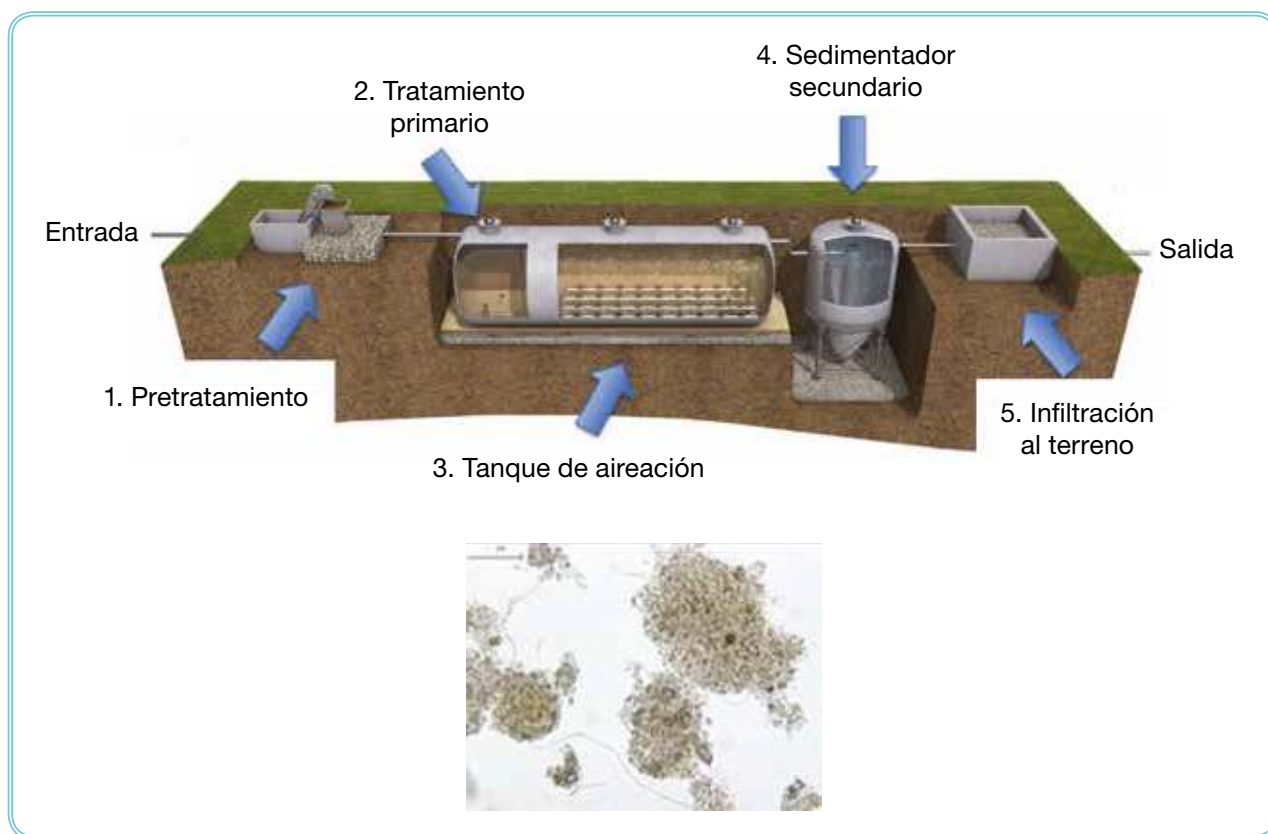


Figura 30. a. Esquema general de un proceso de tratamiento de lodos activados individual. (Depuración de Agua Residual, s.f.). **b.** Figura de un flóculo biológico al microscopio.

Fuente: Biotecnología Aplicada, s.f. <https://bioreactorcrc.wordpress.com/2008/04/30/como-funciona-una-planta-de-lodos-activados/>

El proceso de tratamiento de lodos activados requiere de energía eléctrica para el funcionamiento del equipo electromecánico, además de monitoreo constante y de personal capacitado para su operación, así como de rutinas de mantenimiento preventivo, con el objetivo de mantener el sistema estable, ya que pequeños cambios o fallas pueden traer consecuencia muy negativas, como la muerte o intoxicación de los microorganismos y con esto la pérdida de calidad de los efluentes tratados (deficiente remoción de contaminantes).

Una explicación más detallada de este proceso de tratamiento, se realiza en el próximo capítulo, ya que como se hizo mención, su principal aplicación es en sistemas colectivos.

3.7 Humedales artificiales y biojardineras

Los humedales artificiales son sistemas no convencionales de tratamiento de aguas residuales que pueden ser utilizados en sistemas de tratamiento de aguas residuales individuales y colectivos. Los mismos son diseñados y construidos con el fin de maximizar la remoción de los contaminantes presentes en las aguas residuales, reproduciendo los mecanismos de degradación de los humedales naturales. Se les conoce también como humedales construidos y en ciertas aplicaciones como biojardineras.

Son utilizados para tratar los efluentes provenientes de sistemas de tratamiento primario ó secundario, su configuración típica consiste en lechos ó excavaciones poco profundas (menores de un metro) e impermeabilizadas que se rellenan de material granular (piedra) y sobre las cuales se

siembran las plantas. El sistema está conectado a tuberías de entrada y salida que permiten el flujo del agua. La sencillez de su construcción permite que se utilicen materiales accesibles en la mayoría de las comunidades así como mano de obra local, lo cual puede ser muy ventajoso para los sistemas de saneamiento comunales.

Según el flujo del agua, los humedales se clasifican en:

- ◆ Humedales de flujo subsuperficial: en estos el agua pasa por debajo de la superficie de las piedras (lecho granular), evitando la presencia de mosquitos, los malos olores y previniendo el contacto directo con el agua residual.(EPA, 2000; EPA,1993) Según la dirección seguida por el agua, éstos pueden dividirse en:
 - ◆ Horizontales (figura 31.a): el agua fluye en forma horizontal a través del sistema y el lecho de piedra permanece inundado.
 - ◆ Verticales (figura 31.b): el agua ingresa desde arriba en tandas ó impulsos, inunda el sistema y luego se vacía.

Los humedales artificiales con flujo subsuperficial horizontal, se aplican en la mayoría de los casos para el tratamiento de aguas residuales de viviendas individuales sin embargo también pueden tratar el caudal de poblaciones pequeñas.

- ◆ Humedales artificiales de flujo superficial libre (figura 31.c): el flujo del agua se da en la superficie desde la entrada hasta la descarga (el espejo de agua es visible). (EPA, 2000; Sánchez, 2010).

A pesar de que mecánicamente estos sistemas son muy simples, biológicamente son sistemas sumamente complejos donde las interacciones que intervienen en la degradación de la contaminación se deben al contacto del agua con el sustrato sólido (piedras), los microorganismos y la vegetación. Las dimensiones del sistema y las recomendaciones constructivas se hacen de acuerdo a un diseño que considera el caudal de agua residual a tratar así como su carga orgánica, para determinar el tiempo de residencia hidráulico y el tamaño y cantidad de unidades requeridas. A pesar de que la construcción del sistema es sencilla, éste debe ser diseñado considerando datos históricos del agua residual generada y preferiblemente utilizando datos específicos de la caracterización fisicoquímica del agua residual.

Dentro de los parámetros de contaminación que se espera sean removidos por los humedales artificiales se encuentran nutrientes como el fosforo, la carga orgánica, en términos de DBO y DQO, entre otros, en el cuadro 3 se indican porcentajes de remoción para estos parámetros.

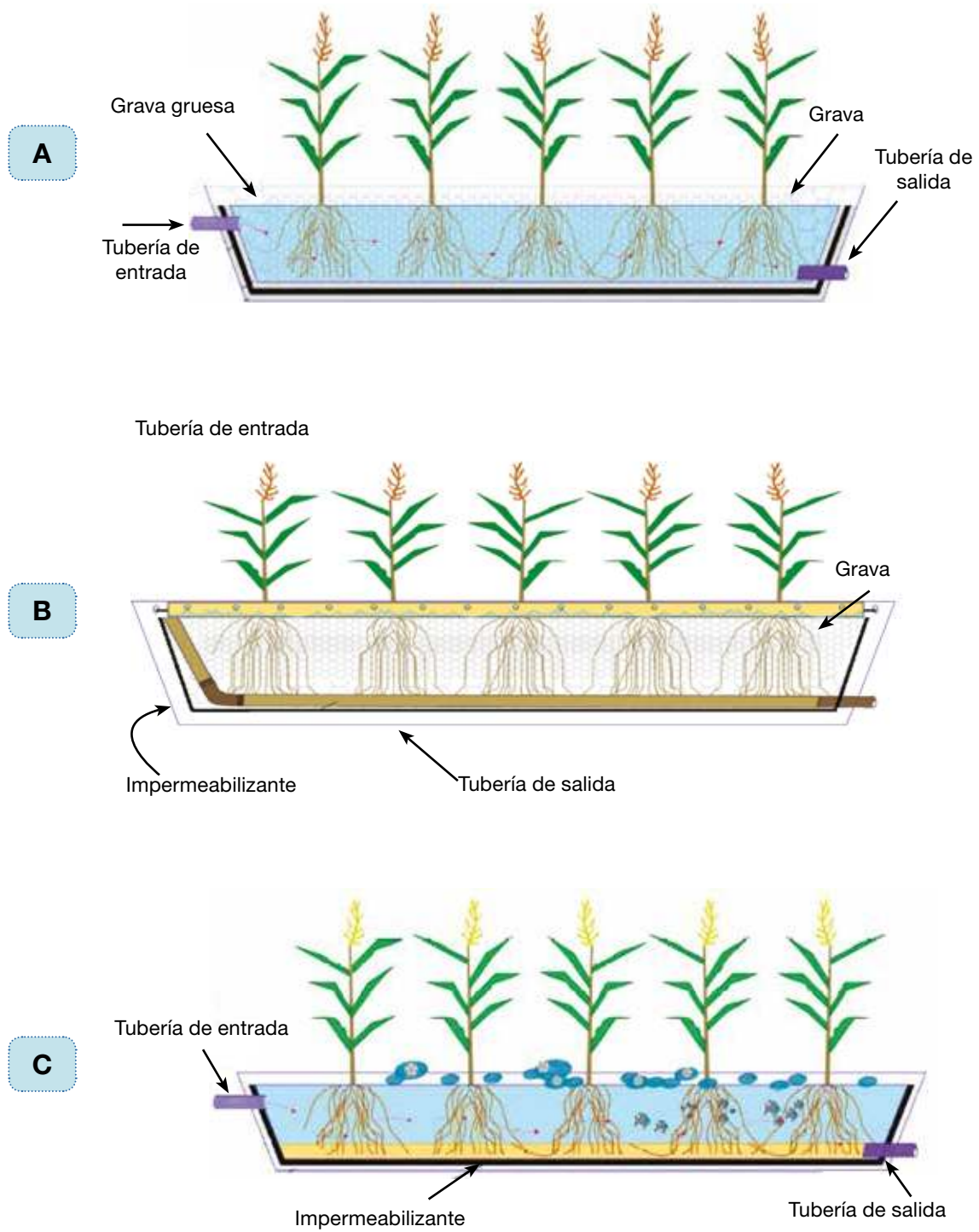


Figura 31. Humedales artificiales: a) flujo subsuperficial horizontal, b) flujo subsuperficial vertical, c) flujo superficial libre.
(Fuente: Sánchez, 2010)

Cuadro 3. Porcentaje de remoción de contaminantes esperados en humedales artificiales.

Parámetro	Porcentaje de remoción	Fuente
DBO	75-95	Delgadillo, et al. 2010; Gunesa & Tuncsiperb, 2009; Veraa, et al. 2011
DQO	85-95	Romero, et al. 2009
P	10-20	García, et al, 2008

Los tipos de agua residual que pueden ser tratadas en los humedales artificiales incluyen aguas residuales domésticas, aguas de actividades pecuarias, aguas residuales de la industria de alimentos, aguas de escorrentía pluvial, entre otros.

En Costa Rica, los sistemas de humedales artificiales más utilizados han sido los de tipo sub-superficial horizontal para el tratamiento principalmente de aguas residuales ordinarias, siendo el agua residual previamente tratada en tanques sépticos u otro sistema de pretratamiento que permita eliminar sólidos gruesos y suspendidos que puedan obstruir el lecho granular del humedal.

Aunque los humedales artificiales no generan fuertes olores, la falta de limpieza de los sistemas de pretratamiento y sedimentación pueden generar malos olores debido a la descomposición de la materia orgánica que se retiene en estas etapas, por lo que las actividades de limpieza regular de estos componentes aunque son operaciones muy sencillas, son de suma importancia para asegurar el funcionamiento correcto del sistema.

Como ventajas generales de los sistemas de tratamiento de humedales artificiales se pueden mencionar las siguientes:

- ◆ Sistemas naturales totalmente respetuosos e integrados con el medio ambiente, capaz de remover sólidos en suspensión, materia orgánica, nutrientes y microorganismos patógenos.
- ◆ Costo de instalación inferior a otras tecnologías de tratamiento como lodos activados.
- ◆ Mantenimiento sencillo, con bajo costo y reducido o nulo consumo de energía.

En cuanto a desventajas o problemas que pueden presentar los humedales artificiales, en general, se encuentran las siguientes:

- ◆ Se requiere de un área de terreno amplia para su instalación.
- ◆ Los costos de inversión inicial son moderados, esto dependerá del tipo de suelo.
- ◆ Se requiere de una etapa previa, de separación de sólidos, grasas y aceites para evitar que se obstruya el lecho (piedras).
- ◆ No ha sido catalogada como una tecnología robusta ante cambios considerables de caudal por efecto de población flotante, es decir, no son recomendados para lugares turísticos con cambios fuertes en la cantidad de usuarios por temporadas.

El mantenimiento de humedales artificiales, implica labores de corta de plantas, inspecciones visuales del área con el fin de detectar a tiempo cualquier anomalía, y operación y mantenimiento estrictos de la etapa previa.

3.8. Resumen

Un sistema individual tiene como finalidad tratar el agua residual de una vivienda o inmueble, en Costa Rica, el uso de tanques sépticos predomina, sin embargo otras alternativas de tratamiento como lodos activados, filtros anaerobios y humedales artificiales; se abren paso poco a poco en el mercado nacional.

Para la instalación de filtros anaerobios y humedales artificiales, debe existir una etapa previa de remoción de sólidos, para evitar la obstrucción de estas unidades.

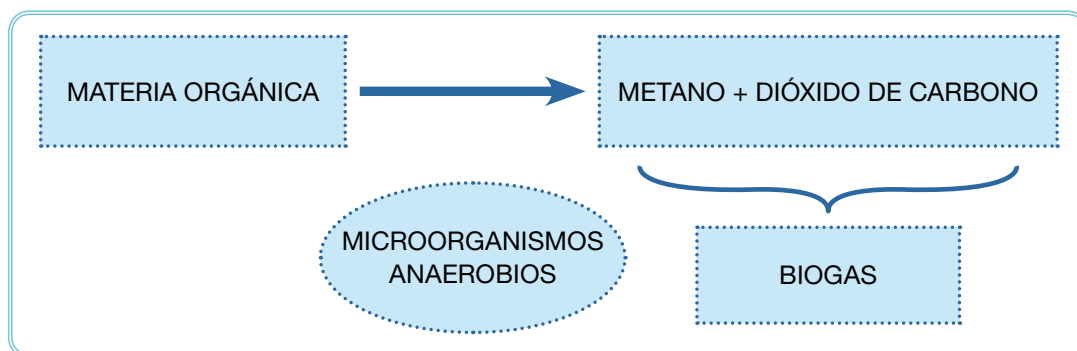
Se debe realizar la disposición adecuada de los efluentes tratados ya sea en un cuerpo receptor autorizado o por medio de un sistema de infiltración al terreno (requiere prueba previa de infiltración).

En el siguiente capítulo se retomarán algunos conceptos ya mencionados y se detallan aspectos relevantes de los sistemas colectivos de tratamiento para aguas residuales ordinarias.

Conceptos de interés

Ente generador: propietario del inmueble o vivienda que genera agua residuales.

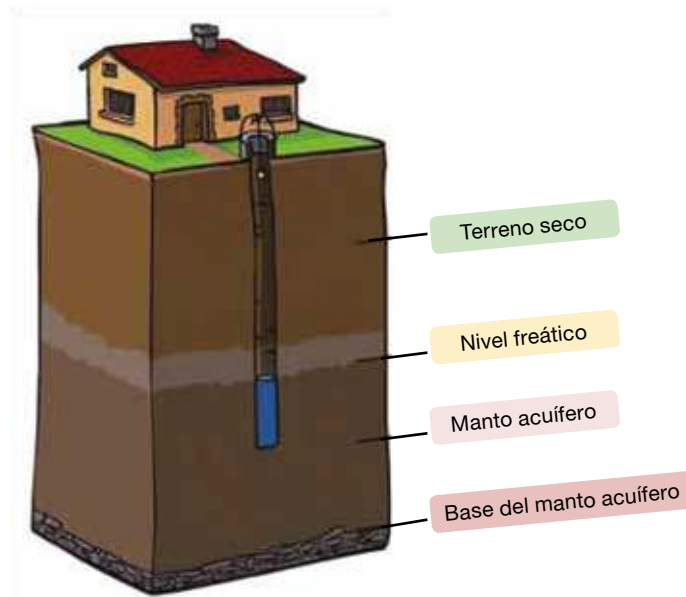
Degradación anaerobia: también llamada digestión anaerobia, es un proceso de conversión de la materia orgánica a metano y dióxido de carbono, en ausencia de oxígeno y con la interacción de diferentes poblaciones bacterianas.



Suelo arcilloso: suelos formados principalmente por arcilla, es un tipo de suelo que cuando esta mojado es pegajoso, pero al secarse es muy fino y suave: es un suelo muy impermeable, es decir no deja pasar el agua o el aire, esto provoca que el agua se estanque fácilmente. (Suelo arcilloso, s.f.)



Nivel Freático: distancia del terreno al nivel de agua subterránea.



Hermeticidad: propiedad de un recipiente que indica que hay entrada o salida de sustancias, es decir que el recipiente se encuentra sellado o cerrado adecuadamente.

Impermeable: no se permite el paso de la humedad, el agua, u otro líquido.

Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales

Sistemas convencionales: se caracterizan porque ocurren de forma secuencial y a velocidades aceleradas, tienen un alto consumo energético, también se les denominan procesos intensivos, por ejemplo: Lodos Activados.

Sistemas No Convencionales: al contrario de los procesos convencionales, estas tecnologías de tratamiento se desarrollan a una velocidad natural, no requieren aporte energético, además el mantenimiento y la operación son sencillas, suelen llamarse procesos extensivos, por ejemplo, sistemas lagunares.



Capítulo 4.

Sistemas colectivos para el tratamiento de aguas residuales ordinarias

4.1 Introducción

Los sistemas colectivos para el tratamiento de aguas residuales consisten en un conjunto de operaciones y procesos aplicados al agua residual, que sirven para remover los contaminantes que la afectan. La diferencia en relación a sistemas individuales es el caudal de diseño que depende del número de servicios del área de cobertura, lo cual implica un mayor nivel de complejidad en el control, operación y mantenimiento del sistema.

En el presente capítulo se describen algunas de las tecnologías de tratamiento más aplicadas en el país para sistemas colectivos; a saber, lodos activados, sistemas lagunares y reactores anaerobios; además, se introducen algunas nuevas tecnologías cuyo uso está iniciando en país. A continuación se explica cómo funciona cada proceso, las etapas involucradas y, en algunos casos, se explican aspectos sobre operación y mantenimiento.

4.2 Sistemas colectivos para tratamiento de aguas residuales ordinarias

Los sistemas de tratamiento colectivos se implementan cuando es requerido el tratamiento del agua residual de un conjunto de viviendas; la cobertura de estos sistemas van desde una urbanización hasta una ciudad según el proyecto. En el caso de sistema de tratamiento de aguas residuales colectivos, se requiere la instalación de un sistema de alcantarillado sanitario que permita recolectar y transportar el agua residual hasta la planta de tratamiento de aguas residuales.

Un sistema colectivo, está formado por las siguientes etapas de tratamiento:

- ♦ **Pretratamiento:** se realiza la separación previa de la mayor cantidad posible de contaminantes que, por su naturaleza o tamaño puedan, dar problemas posteriormente, como pueden ser los sólidos gruesos, las arenas, las grasas, los aceites y demás sólidos flotantes, principalmente.
- ♦ **Tratamiento primario:** esta etapa tiene como objetivo principal la eliminación de los sólidos sedimentables.

- ♦ **Tratamiento secundario:** etapa encargada de la eliminación de la materia orgánica biodegradable disuelta o en forma coloidal, así como parte de los nutrientes presentes en el agua.
- ♦ **Tratamiento terciario:** permite obtener efluentes de mayor calidad para ser vertidos en zonas con requisitos más exigentes. Generalmente se busca la eliminación de nutrientes y patógenos.
- ♦ **Tratamiento de lodos:** incluye procesos de espesado, biodigestión, estabilización, deshidratación y disposición final de los biosólidos.

La etapa de tratamiento terciario es un proceso que se aplica cuando se requiere obtener efluentes con parámetros de calidad muy estrictos, en el caso que se requiera remover algún contaminante específico como nutriente o patógeno, o en situaciones donde se decida reutilizar el agua residual tratada. Para efectos normativos, en el caso de aguas residuales ordinarias, la calidad del efluente obtenida después del tratamiento secundario, debe cumplir con los requerimientos mínimos para descarga a un cuerpo receptor establecidos en el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales, por lo que no es frecuente la aplicación de un tratamiento terciario, salvo casos muy específicos. En la figura 32, se indica un esquema de las etapas de tratamiento involucradas en un sistema colectivo.

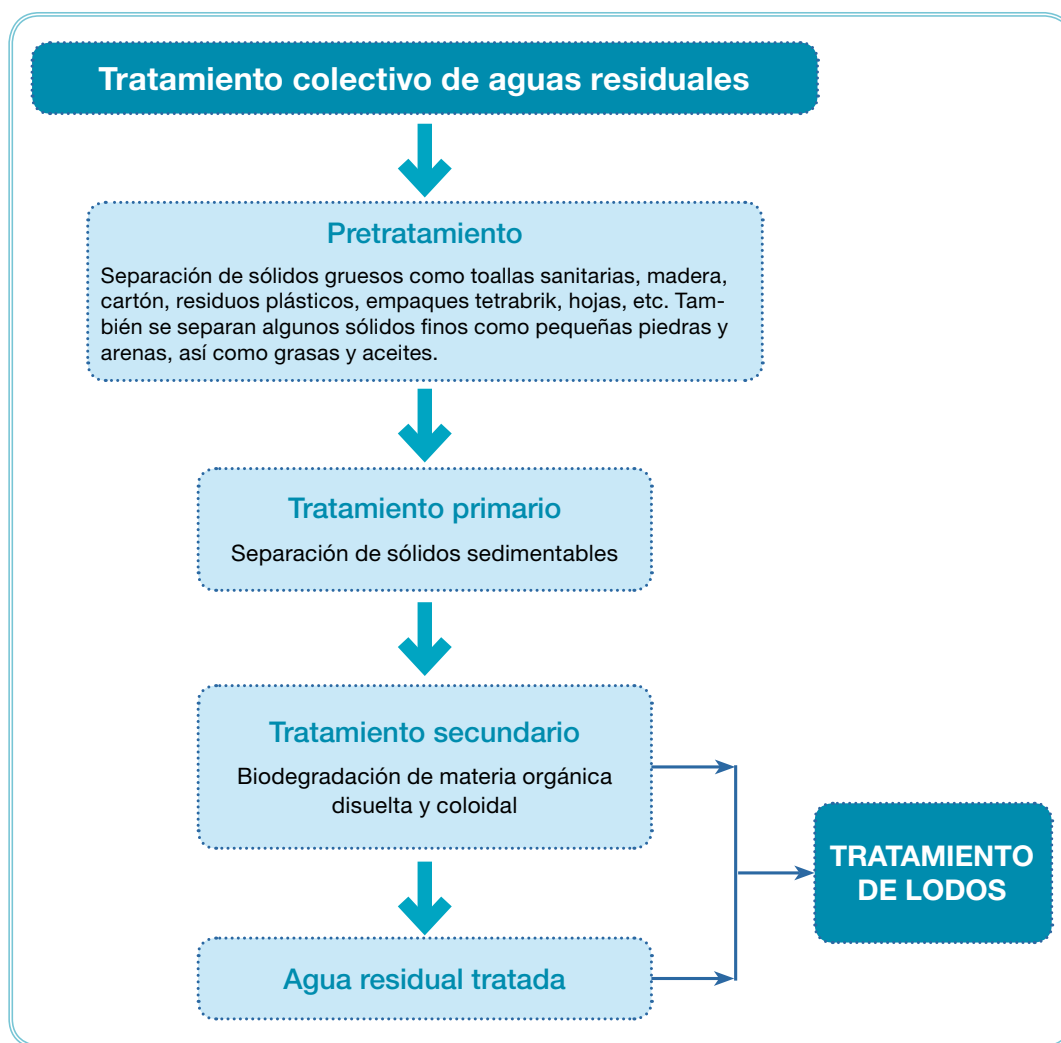


Figura 32. Esquema de las etapas básicas de un sistema colectivo para el tratamiento de aguas residuales ordinarias.

Fuente: Elaborador por Briceno, 2015

A continuación, se describen cada una de las etapas de tratamiento, las operaciones y los procesos utilizados, así como ejemplos de equipos usados frecuentemente.

4.2.1 Pretratamiento

Es el primer paso o etapa que interviene en un sistema de tratamiento colectivo; tiene por objetivo separar la mayor cantidad posible de sólidos como los sólidos gruesos, las arenas y las grasas que por su naturaleza o tamaño, pueden generar problemas en las etapas posteriores del tratamiento; por ello se suelen utilizar operaciones físicas y mecánicas mediante rejillas, tamices, desarenadores y trampas de grasa.

El correcto diseño, operación y mantenimiento de la etapa de pretratamiento son aspectos de vital importancia, pues cualquier deficiencia en ellos repercute muy negativamente en el resto de las instalaciones, provocando obstrucciones de tuberías, válvulas y bombas, desgaste de equipos, acumulación de arenas y sobrenadantes, que tendrán como resultado la pérdida de eficiencia del sistema, ya que los tratamientos siguientes no están diseñados para tratar este tipo de contaminantes.

El conjunto de operaciones a seleccionar en el pretratamiento dependerán de factores como la calidad del agua de entrada, el tipo de tratamiento posterior, sea tratamiento primario y tratamiento secundario, y el tamaño de la población, entre otros aspectos.

Generalmente, las operaciones de separación de sólidos que se involucran en el pretratamiento de las aguas residuales son rejillas las cuales separan los sólidos gruesos, el desarenado que permite remover las arenas, las piedras y los sólidos finos y ayudan a la remoción de grasas y aceites.

Otra operación que tiene lugar en la etapa de pretratamiento es la medición y regulación de caudal. Las mediciones de caudal se realizan generalmente por medio de vertederos, canaletas Parshall y medidores ultrasónicos, entre otros, para conocer la cantidad de agua residual que entra y sale del sistema y con el fin de optimizar la operación de la planta. El objetivo de regular el caudal es enviar a las etapas posteriores un caudal constante, que favorezca la estabilidad del sistema de tratamiento. Sin embargo, en algunas ocasiones se suele omitir esta operación, lo cual no es recomendable.

Seguidamente se describen en detalle las operaciones que conforman la etapa de pretratamiento.

Separación de sólidos gruesos

La operación de separación de los sólidos gruesos del agua residual es realizada por varios mecanismos, entre ellos rejillas y tamices.

Las rejillas son un conjunto de barras verticales inclinadas con un espaciado específico entre ellas. Se ubican transversalmente y de manera perpendicular al flujo, en el canal de ingreso de las aguas residuales al sistema de tratamiento o a una estación de bombeo de aguas residuales. Al pasar el agua residual, los sólidos gruesos quedan retenidos en las rejillas y deben ser retirados manualmente en el caso de rejillas de operación manual; también podría ser que las estén equipadas con un dispositivo de limpieza automática en el caso de sistemas de mayor capacidad. En la figura 33, se ilustra la descripción anterior.

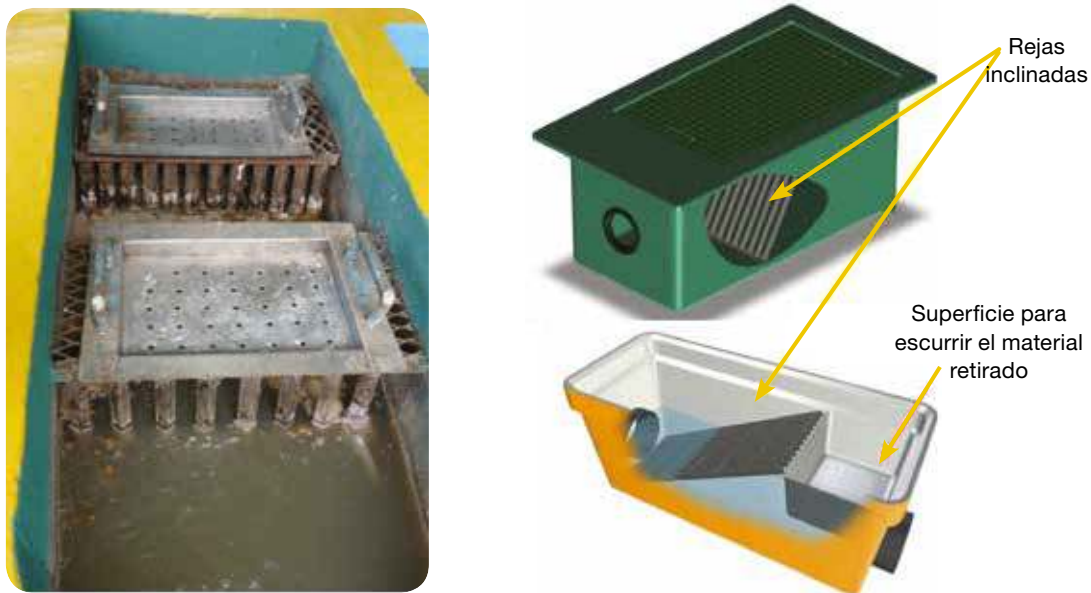


Figura 33. Ilustraciones de rejillas.

Fuente: Reja de desbaste manual, s.f.

Se presentan otras variantes en relación al diseño y forma de las rejillas, dando lugar a las siguientes clasificaciones:

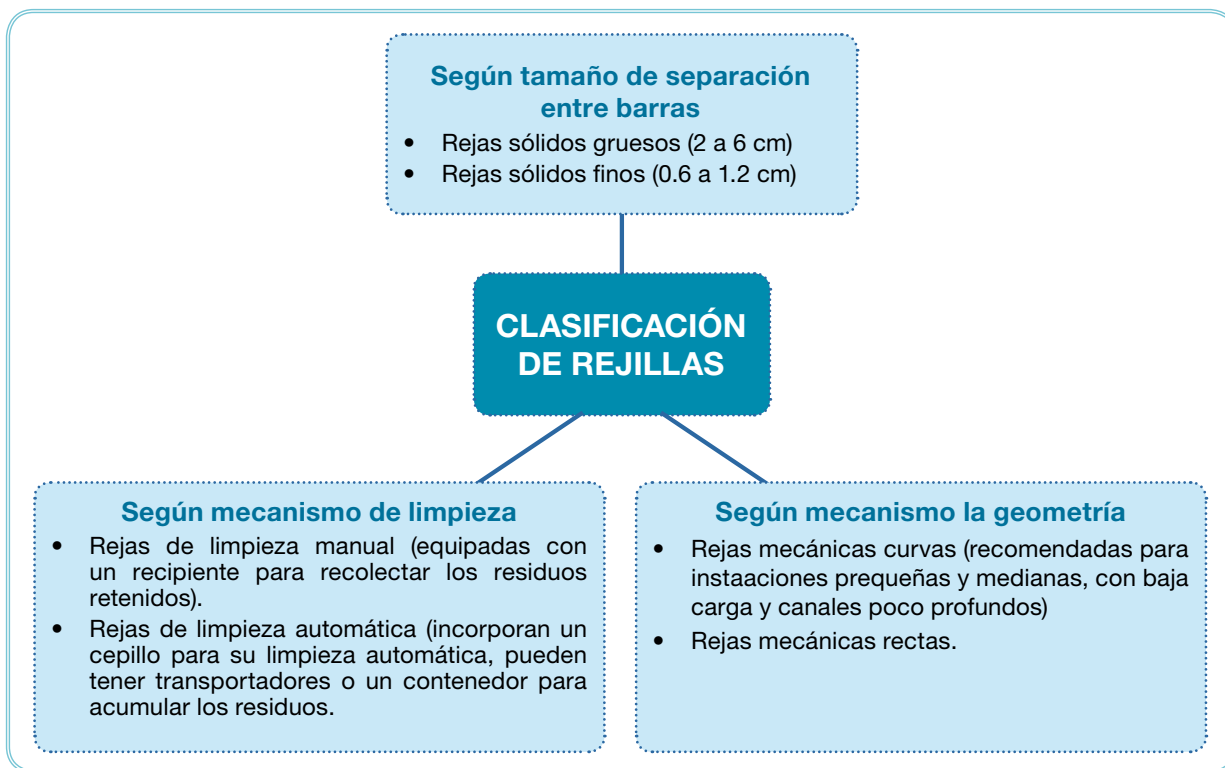


Figura 34. Clasificación de rejillas.

Fuente: Metcalf, 1996

El tamizado tiene el mismo objetivo que las rejillas, solo que en lugar de barras se utilizan tamices, el espaciamiento en un tamiz es menor en relación con el de una rejilla; generalmente, el espaciamiento es tamices oscila entre 0.2 mm y 5 mm. El tamiz consiste en una lámina perforada o ranurada que se monta sobre un marco de acero inoxidable, como se muestra en la figura 35.



Figura 35. Estructura de un tamiz.
Fuente: Depuradoras de agua, 2011

En relación con los tamices, los más empleados son los estáticos autolimpiantes y los rotativos. También son recomendables los de escalera y los de tornillo. A continuación, se ilustran los distintos tipos de tamices en la figura 36:



Figura 36. Tipos de tamices utilizados en planta de tratamiento de aguas residuales.
Fuente: 1. <http://www.tratamientosdelaguaydepuracion.es/> 2, <http://www.sereco.it> 3, <http://www.directindustry.es>

4.2.2 Separación de arenas y sólidos finos

La remoción de las arenas, las piedras pequeñas, las semillas u otros sólidos que sedimentan fácilmente, tiene lugar en una unidad conocida como desarenador.

Esta etapa tiene por objeto la eliminación tanto de materia inorgánica como arenas y piedras, así como de materia orgánica como pueden ser restos de comida, granos de café, huesos y cáscaras de huevo que se depositaría fácilmente en el fondo de los canales, las tuberías y las unidades de tratamiento, y que podrían provocar el desgaste de los equipos electromecánicos si no fueran removidos.

Por esta razón, esta etapa se ubica generalmente después de las rejillas o tamices y antes del tratamiento primario.

Es posible encontrar desarenadores estáticos o canales que pueden ser de flujo variable o de flujo constante; también existen desarenadores aireados, en ellos el aire inyectado permite reducir el contenido en materia orgánica de la arena, provocando un movimiento en espiral que se controla por la propia geometría del tanque y por la cantidad de aire suministrado. Sus paredes inferiores tienen un alto grado de inclinación para facilitar la remoción de la arena acumulada.

Algunas ventajas que presentan los desarenadores aireados son:

- ♦ La aireación del agua residual, disminuye la aparición de malos olores.
- ♦ Con una adecuada aireación se obtienen arenas muy limpias de materia orgánica.
- ♦ Este tipo de desarenador puede ser utilizado también para separar grasas, cuando el contenido en el agua residual cruda es bajo. (León, 2010)



Figura 37. Tipos de desarenadores, utilizados en el tratamiento de aguas residuales.

Fuente: 1. <http://harleunimeta.blogspot.com/> 2. <http://aulacidta1.usal.es>

4.2.3 Remoción de grasas y aceites (trampa de grasas)

Esta operación tiene por objetivo remover las grasas y demás materias flotantes que son más ligeras que el agua y que, después de cierto tiempo de reposo, flotan; este tipo de materiales tienen una densidad menor en comparación con la densidad del agua residual y por esa razón tienden a desplazarse hacia la superficie. En la figura 38, se representa el funcionamiento general de una trampa de grasas.

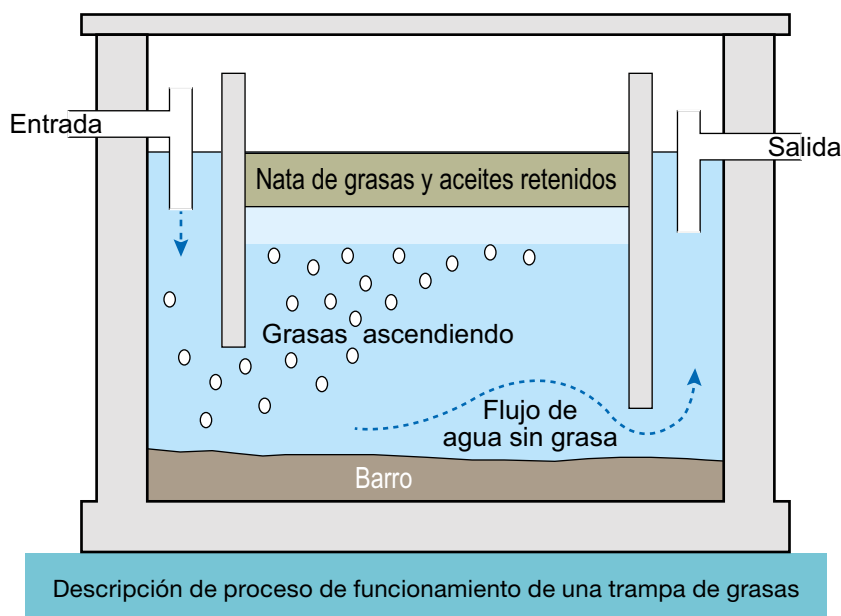


Figura 38. Esquema representativo del funcionamiento de una trampa de grasas estática.
(Fuente: UNAD, s.f.)

Se distinguen dos tipos de trampas de grasas, que son:

Estáticas

Esta unidad permite que la velocidad del agua residual que ingresa, disminuya, lo cual propicia la separación de las grasas y aceites que tienden a acumularse en la superficie, formando una capa, que debe ser removida regularmente, para evitar la aparición de malos olores y mosquitos. Es común utilizar pantallas o deflectores para evitar el arrastre de grasas y aceites flotantes a etapas posteriores. El rendimiento de este tipo de equipos es bastante inferior al de las trampas de grasa aireadas.

Aireadas

En este tipo de trampas de grasas se inyecta aire desde el fondo del tanque, con el fin de desmenuar las grasas y de mejorar su flotación. Su aplicación suele ser combinada con la operación de desarenado. (León, 2010)

Regulación y medición de caudal

La medición de los caudales es una operación necesaria para poder realizar una operación eficiente de la planta de tratamiento y evaluar los costos del tratamiento.

La medición del caudal de agua residual se puede realizar en canales abiertos o en tuberías cerradas.

En canales abiertos, la determinación del caudal se lleva a cabo normalmente en vertederos rectangulares o triangulares, o en canaletas tipo Parshall. En la figura 39 se muestran las formas habituales utilizadas en vertederos y un canal tipo Parshall.

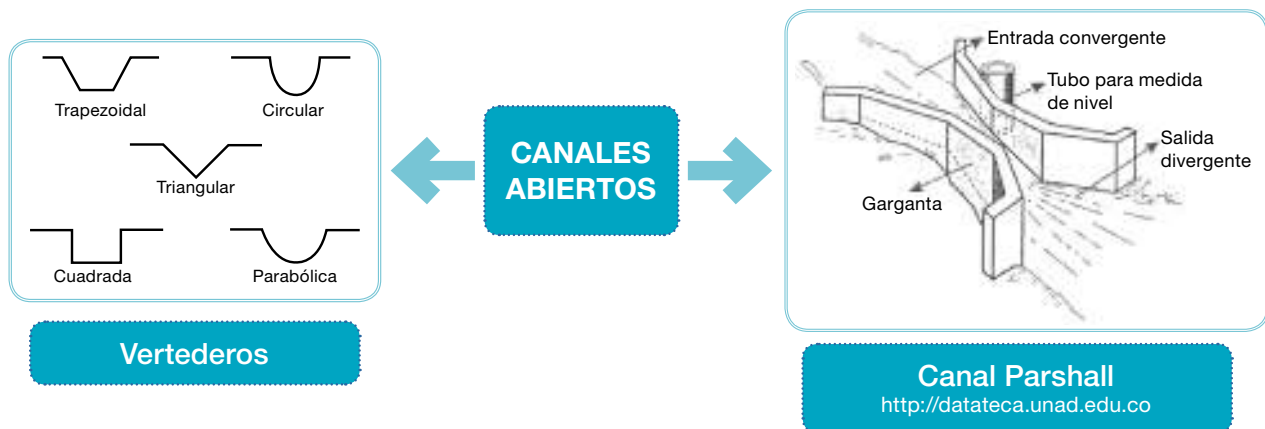


Figura 39. Tipos de canales abiertos, utilizados para medición de caudal.

La medición de las variaciones de altura de la lámina de agua o caudal, se realiza, normalmente, mediante un flotador o por medio de un sistema ultrasónico; también es posible hacerla dentro del propio canal, en una pileta construida al lado del canal y comunicada con él por su parte inferior. (Ortega de Miguel, 2010 p.66)

En plantas pequeñas a nivel de urbanizaciones, se recomienda la utilización de medida de caudal en canal abierto mediante vertedero triangular, esto por el costo de fabricación del canal y la compra, instalación y calibración de la canaleta Parshall.

Cuando se desee mayor nivel de automatización pueden instalarse medidores de caudal electro-magnéticos o ultrasónicos, que registren cada cierto tiempo las lecturas de caudal y sus datos pueden ser accesados de forma remota; cada uno de estos medidores tiene requerimientos específicos para su instalación, los cuales deben ser consultados con el posible proveedor

Un aspecto importante a tomar en cuenta en toda instalación para el tratamiento de aguas residuales, es incluir una sección o caja de muestreo que permita tomar una muestra del agua residual cruda y el agua residual tratada; esto con el objetivo de conocer las características del agua a tratar y del efluente tratado y poder evaluar el rendimiento del sistema de tratamiento.

En resumen, la etapa de pretratamiento, será la responsable de la remoción de sólidos gruesos, sólidos finos como piedras pequeñas y arenas, grasas y aceites, por medio de equipos como rejillas, tamices, desarenadores y trampas de grasa. Dentro del pretratamiento también se incluye la operación de regulación y medición de caudal.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> • Se reducen los problemas de atascos en las rejillas, dado que su limpieza se activa de forma automática cuando se requiere. • Mejores rendimientos de eliminación de sólidos en la etapa de desbaste, ya que se evitan los arrastres que se producen en las rejillas al realizar su limpieza de forma manual. • Las unidades aireadas (desarenadores y trampas de grasas), tienen mejores porcentajes de remoción. 	<ul style="list-style-type: none"> • Presenta un consumo energético reducido. • La presencia de equipos electromecánicos conlleva la posible aparición de averías y mayores necesidades de mantenimiento (preventivo y correctivo). • Los canales de desbaste automáticos se requieren la construcción de un canal de desbaste manual paralelo, que entra en operación cuando se ejecutan las paradas de mantenimiento del sistema automático o en casos de averías por fallos en el suministro eléctrico. • Los sistemas automáticos conllevan mayores costos de instalación.

Figura 40. Ventajas y desventajas de equipos automáticos utilizados en el pretratamiento de aguas residuales.
Fuente: Ortega de Miguel, 2010 p.75

En relación con el mantenimiento de estas unidades, una vez que el sistema está operando, las labores se centran, principalmente, en el mantenimiento de la obra civil y de las conducciones asociadas.

Para los equipos electromecánicos será necesario realizar su mantenimiento preventivo y correctivo, de acuerdo con las instrucciones del fabricante. En este caso se incluyen bombas, aireadores, motores, y equipos de limpieza automática, y demás equipos electromecánicos involucrados en la etapa de pretratamiento.

Para este tipo de equipo se recomienda crear fichas individualizadas donde se incluya la información indicada en la figura 41.

Nombre del equipo

Características operativas

Horas funcionamiento

Calendario mantenimiento

Fallas y averías

Observaciones importantes de su funcionamiento

Calibraciones realizadas

Figura 41. Ejemplo de ficha para control de mantenimiento preventivo y correctivo de equipos electromecánicos.

En el siguiente cuadro se indican algunos problemas que se podrían presentar en la etapa de pretratamiento, así como sus posibles soluciones.

Cuadro 4. Problemas y soluciones en las unidades de pretratamiento. (Ortega de Miguel, 2010)

Problema	Causa	Solución
<ul style="list-style-type: none"> • Porcentajes elevados de materia orgánica en las arenas retiradas de los desarenadores estáticos de flujo constante. 	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidades de paso del agua en el canal inferiores a 0,3 m/s. 	<ul style="list-style-type: none"> • Es un problema habitual cuando se trabaja con pequeños caudales, y de difícil solución si no es empleando desarenadores aireados.
<ul style="list-style-type: none"> • Burbujeo en la superficie de la trampa de grasas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Excesiva acumulación de lodos el fondo de la trampa de grasas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Purga periódica de los lodos que se van acumulando en el fondo de la trampa de grasas, estos lodos se pueden enviar al tratamiento primario, o se mezclan con los lodos generados en la etapa de sedimentación secundaria.
<ul style="list-style-type: none"> • En los desarenadores aireados baja concentración de arenas en la corriente de salida de la bomba de arenas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia elevada de entrada en operación de la bomba de extracción de arenas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar el tiempo de parada entre arranques de la bomba de extracción de arenas.
<ul style="list-style-type: none"> • Generación acentuada de malos olores. 	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de cumplimiento en las rutinas de limpieza de rejillas, desarenadores o trampa de grasas. • Remoción de los residuos extraídos en las operaciones de pretratamiento con una frecuencia inferior a la recomendada. • Acumulación de lodos en el fondo de la trampa de grasas. • Vertidos industriales a la red de alcantarillado sanitario. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cumplimiento con la rutina de limpieza establecida en las operaciones de pretratamiento. • Retirar más frecuentemente los residuos extraídos del pretratamiento. Incluir un compactador para los residuos extraídos de las rejillas. • Purgar periódicamente los lodos que se van acumulando en el fondo de la trampa de grasas. • Seguimiento a este tipo de evento, para determinar la posible fuente y realizar la denuncia respectiva.

Tratamiento primario

El principal objetivo de los tratamientos primarios es la eliminación de sólidos en suspensión, especialmente los flotantes y los sedimentables, consiguiéndose además una cierta reducción de la contaminación biodegradable, dado que una parte de los sólidos que se eliminan están constituidos por materia orgánica. Esta eliminación puede llevarse a cabo mediante operaciones físicas tales como tamizado y sedimentación.

En general, es común el uso de sedimentadores primarios para realizar la separación de sólidos suspendidos presentes en el agua residual, la estructura de estos puede ser de forma circular o rectangular. En caso de requerirse, es posible aplicar productos químicos ya sea para acelerar el proceso de sedimentación o por las características propias del agua a tratar, este proceso se conoce como sedimentación avanzada.

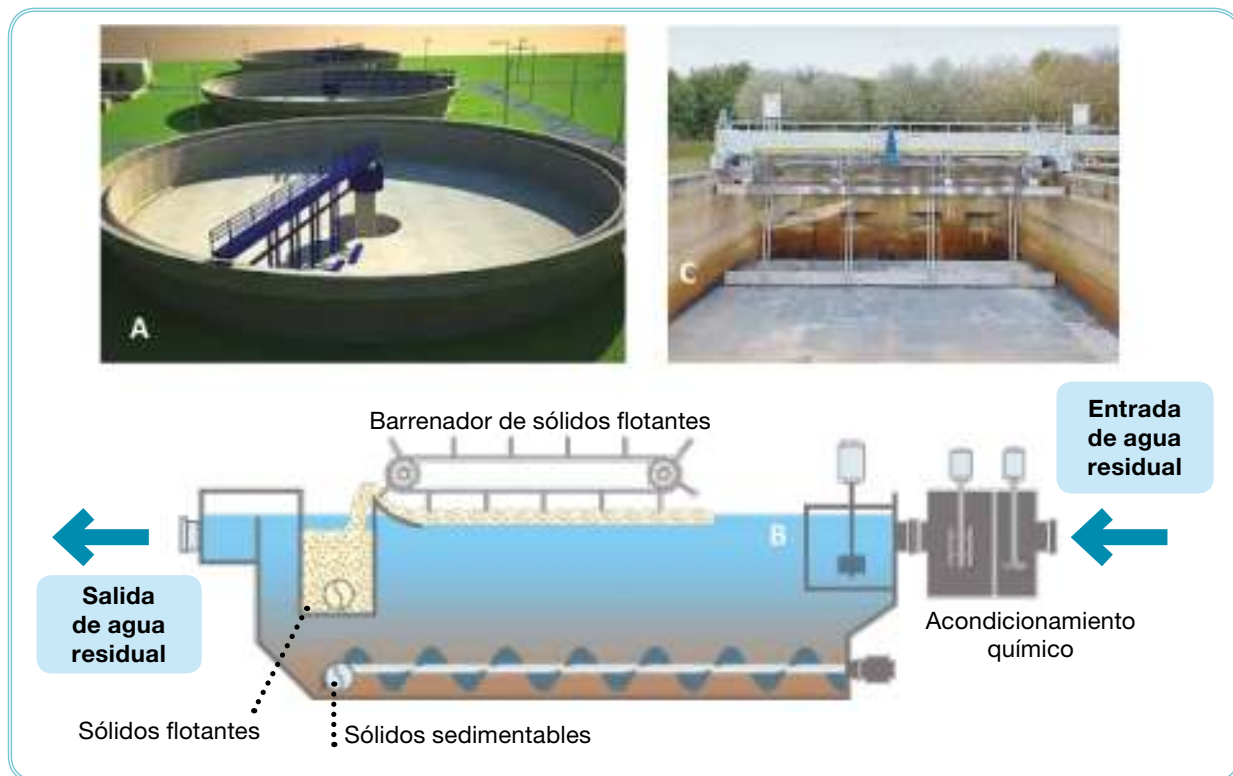


Figura 42. A) Sedimentador circular (<http://datateca.unad.edu.co>), B) Sedimentación avanzada Fuente: (<http://www.novarsa.com>), C) Sedimentador rectangular (<http://www.sereco.it>)

Una ventaja que ofrece el tratamiento primario es que facilita los tratamientos posteriores; sin embargo, para garantizar un adecuado funcionamiento de esta unidad se debe tener especial atención al caudal de agua que ingresa, ya que en el caso de que fluyan fuertes corrientes de agua, estas van a afectar el proceso de sedimentación por la agitación al interior de la estructura del sedimentador y esto podría provocar la salida del sedimentador, pequeños grumos de sólidos o sólidos muy finos.

También es importante conocer qué cantidad de agua o caudal es el adecuado que ingrese, de acuerdo con el tamaño de sedimentador con que se cuenta y según su diseño, esto se conoce como carga superficial. El propósito es que esta relación de flujo y tamaño garantice un tiempo mínimo

de reposo del agua residual para que los sólidos suspendidos se depositen en la sección inferior del sedimentador y pueden ser retirados del agua residual.

La operación y mantenimiento de los sedimentadores primarios requiere inspecciones rutinarias, extracción periódica de los lodos y los flotantes, así como el mantenimiento de los equipos electromecánicos y de la obra civil. El mantenimiento electromecánico requiere de personal con cierta preparación técnica. (Ortega de Miguel, 2010)

El uso de sedimentadores primarios presenta las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas

- ◆ Bajos costos de operación y mantenimiento.
- ◆ Fácil y rápida instalación en el caso de las unidades prefabricadas.
- ◆ Facilitan los tratamientos posteriores, removiendo contaminantes de difícil degradación.

Desventajas

- ◆ Poca estabilidad frente a cambios de caudal.
- ◆ Se generan lodos no estabilizados que hay que extraer con frecuencia del sistema.
- ◆ Leve generación de malos olores.

Durante la operación de un sedimentador primario es posible que se presenten problemas, como los que se indican en el cuadro 5.

Cuadro 5. Problemas operacionales, en sedimentador primario, causa y solución.
(Ortega de Miguel, 2010)

Problema	Causa	Solución
<ul style="list-style-type: none"> • Deficiente calidad del efluente, elevada concentración de sólidos suspendidos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado caudal de entrada (sobre carga hidráulica). • Frecuencia de purga de lodos elevada. • Acumulación excesiva de materia flotante. 	<ul style="list-style-type: none"> • Regular el caudal de entrada al sedimentador. • Aumentar la frecuencia de extracción de lodos. • Aumentar la frecuencia de rutinas de extracción de material flotante.
<ul style="list-style-type: none"> • Burbujeo, malos olores y lodo flotante. 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja frecuencia de purga de lodos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar la frecuencia de purga de lodos.
<ul style="list-style-type: none"> • Elevada concentración de arenas en los lodos purgados del sedimentador. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mal funcionamiento del desarenador. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar frecuencia de limpieza del desarenador.
<ul style="list-style-type: none"> • Lodo de purga con baja concentración. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevada frecuencia de purga de lodos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Disminuir frecuencia de purga de lodo.

Tratamiento secundario

El principal objetivo del tratamiento secundario es la remoción de la materia orgánica que puede aparecer en las siguientes formas:

- ◆ Materia orgánica disuelta, la cual no es removida por operaciones físicas, como la sedimentación.

- ♦ Materia orgánica en suspensión, la cual en gran parte es removida en el tratamiento primario; sin embargo, existe una fracción de partículas de tamaño muy pequeño o coloides, cuyo proceso de sedimentación es muy lento, por lo que no es posible su separación en la sedimentación primaria.

El tratamiento secundario de aguas residuales es un proceso biológico, mientras que en los tratamientos preliminares y primario, predominan las operaciones físicas. En el tratamiento secundario la remoción de materia orgánica es efectuada por reacciones de biodegradación, realizadas por los microorganismos (Sperling, 2012). Una gran variedad de microorganismos toman parte en el proceso, entre ellos se encuentran las bacterias, los protozoarios, los metazoos, los hongos y las algas. En la figura 43 se indican algunos ejemplos.


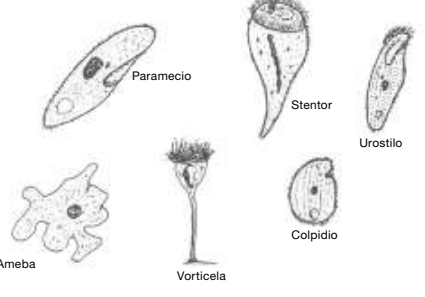

Bacterias	Protozoarios	Metazoos
 <p>Coccos Bacilos Espirilos Vibrios</p>	 <p>Paramecio Stentor Uroestilo Ameba Vorticela Colpidio</p>	
<p>Son las responsables de la degradación de la materia orgánica, esta constituye su alimento principal.</p> <p>http://www.ecured.cu http://www.profesorenlinea.cl</p>	<p>Ejercen una acción de refinamiento, ya que se alimentan de las bacterias que no forman parte de los flocúlos de lodo.</p> <p>http://www.mclibre.org</p>	<p>Colaboran en la acción de refinamiento, ya que consumen cualquier partícula biológica pequeña que no haya sedimentado.</p> <p>http://www.dgpraktikum2012upv.wordpress.com</p>

Figura 43. Ejemplo de microorganismos presentes en el agua residual.

La base de todo el proceso biológico es el contacto efectivo entre los microorganismos y el material orgánico contenido en las aguas residuales, y así este pueda ser utilizado como alimento por los microorganismos. Los microorganismos convierten la materia orgánica en dióxido de carbono, agua y lodo. En caso de que el proceso se de en ausencia de oxígeno, es decir que se utilicen microorganismos anaerobios, se obtendrá como producto gas metano también.

Proceso en presencia de oxígeno:



Proceso en ausencia de oxígeno:

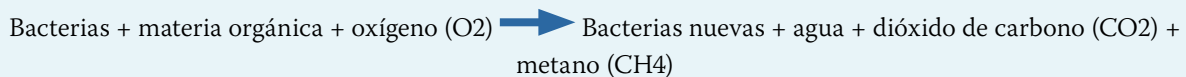


Figura 44. Esquema de las reacciones de biodegradación llevadas a cabo por los microorganismos.

Fuente: Metcalf, 1996

Para llevar a cabo este proceso de tratamiento de una forma eficiente, se debe proporcionar un ambiente favorable para los microorganismos, en donde parámetros como el pH, la temperatura, el tiempo de contacto, la concentración de nutrientes y la concentración de oxígeno, juegan un papel de vital importancia; por esta razón, cuando se utilicen sistemas de tratamiento, se deben monitorear y controlar de tal forma que se encuentren dentro de los rangos de trabajo requeridos por los microorganismos.

Existe una gran variedad de métodos de tratamiento secundario, entre los más comunes se encuentran:

- ◆ Lodos activados y sus variantes
- ◆ Filtros percoladores
- ◆ Lagunas en diferentes modalidades
- ◆ Procesos anaerobios (UASB, FAFA, variantes de reactores anaerobios)
- ◆ Humedales artificiales

De reciente aplicación se encuentran las tecnologías que emplean materiales de soporte que son superficies donde se adhieren los microorganismos, de forma que es posible tener una mayor cantidad de microorganismos en espacios más pequeños, es decir permite tener reactores o tanques de menor tamaño y tratar eficientemente el agua residual. También es posible integrar estas estructuras en procesos ya existentes para mejorar su capacidad de remoción de contaminantes, ejemplo de estos procesos son los reactores biológicos de membrana (MBR), el reactor móvil de lecho bacteriano (MBBR) y lodos activados en película fija integrada (IFAS).

A la hora de seleccionar una tecnología de tratamiento se debe realizar un análisis que tome en cuenta el tipo de agua residual a tratar, nivel de tratamiento requerido, los costos de operación y mantenimiento, uso de energía eléctrica, nivel de complejidad técnica, capacidad y disposición a pagar de los usuarios y la experiencia previa del ente operador para promover la sostenibilidad del sistema de saneamiento en el tiempo. Dicho análisis debe ser realizado por un profesional especializado en saneamiento, antes de iniciar el diseño del sistema.

A continuación veremos una descripción básica de algunos procesos, tomando en cuenta aspectos de operación y control para un adecuado funcionamiento, así como ciertas particularidades que se consideren de interés dentro del objeto de estudio del presente documento.

4.2.3.1 Lodos activados y sus variantes

El proceso de tratamiento de lodos activados se basa en intensificar los procesos de biodegradación que existen en los cuerpos de agua de manera natural, es decir, se desempeña de una forma más rápida y en mayor volumen el proceso de limpieza que el agua residual requiere para ser vertida en un medio receptor, minimizando los riesgos para el medio ambiente y la salud.

Los componentes básicos de un sistema de tratamiento secundario de lodos activados convencional son:

- ◆ Pretratamiento
- ◆ Sedimentador primario
- ◆ Tanque de aireación
- ◆ Sedimentador o clarificador secundario

- ◆ Equipo de aireación
- ◆ Recirculación de lodos
- ◆ Purga de lodos

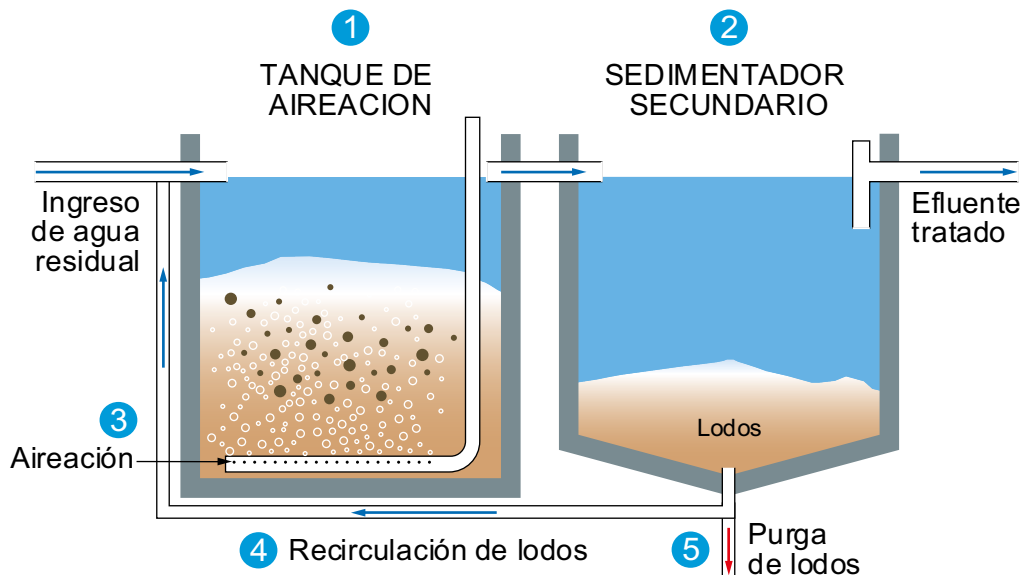


Figura 45. Esquema básico de un sistema de lodos activados convencional.
(Fuente: Tilley, 2010)

El proceso de tratamiento biológico inicia en el *tanque de aireación*, donde entran en contacto los microorganismos con el agua residual pretratada, en presencia de oxígeno (proceso biológico aerobio), dando como resultado la producción de nuevas bacterias, que se unen entre sí y forman pequeñas aglomeraciones o flóculos de masa bacteriana llamada lodo activado, también se produce agua y dióxido de carbono.



Figura 46. Ilustración de flóc's o flóculos presentes en sistemas de lodos activados.
Fuente: Marin, 2013

En algunas ocasiones el contenido de los tanques de aireación de un sistema de lodos activados convencional también es llamado licor de mezcla, porque los microorganismos se mantienen en suspensión.

Transcurrido el tiempo de contacto necesario para la biodegradación de los contaminantes que aún se encuentran en el agua residual, esta se dirige al *sedimentador secundario*, donde se da el proceso de separación del agua residual tratada del lodo activado, éste se depositará en el fondo de la unidad y el agua residual tratada pasará a la siguiente etapa (disposición final o tratamiento terciario en caso de requerirse).

En el sedimentador secundario se dan dos procesos adicionales relacionados con el lodo activado:

- ♦ La recirculación de lodo, que tiene por objeto mantener una cantidad adecuada de microorganismos en el tanque de aireación, para alcanzar los niveles de tratamiento requeridos en un tiempo determinado.
- ♦ La purga de la producción diaria de lodo en exceso para mantener las condiciones óptimas de operación.

Algunos problemas que pueden surgir como consecuencia de la no realización de purgas o de purgas inadecuadas son, el paso de sólidos en el efluente de agua residual tratada, los sólidos flotantes en la superficie del sedimentador secundario y, posiblemente, la presencia de malos olores.

Existen algunos factores que permiten operar y controlar de manera eficiente el proceso de tratamiento de lodos activados, estos son:

- ♦ Mantenimiento de los niveles de oxígeno disuelto en el tanque de aireación (1 mg/l a 4 mg/l, usualmente 2 mg/l).
- ♦ Regulación de la cantidad de lodo activado que se recircula.
- ♦ Control de la cantidad de lodo activado que se purga.

En el siguiente esquema (figura 47) se indican algunas acciones que permiten el monitoreo y control de estos factores.

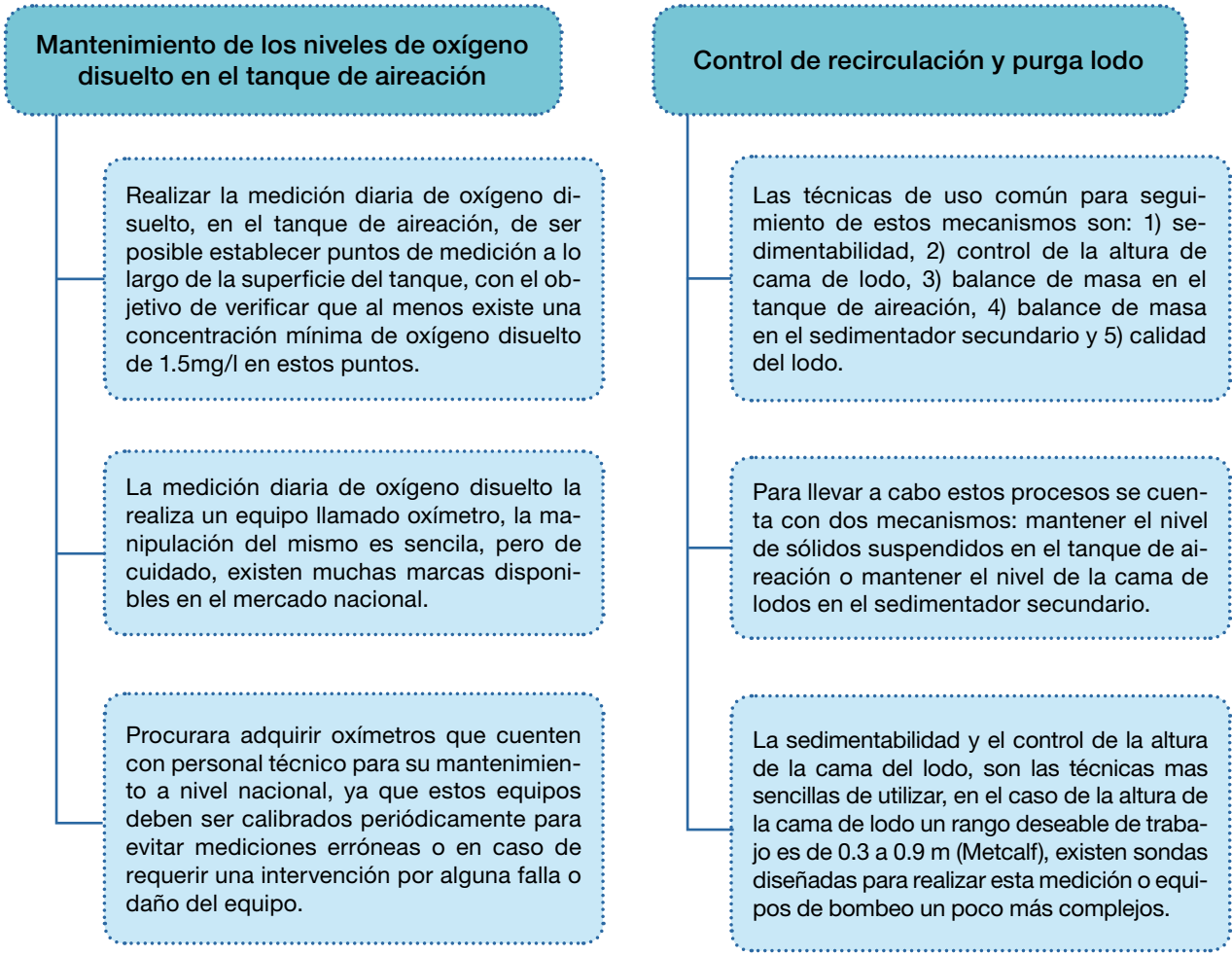


Figura 47. Acciones para control operacional de procesos de lodos activados.
 Fuente: Adaptado de Metcalf, 1996 por Briceño, 2015

Cada uno de estos factores se relaciona con parámetros de medición que van a permitir el seguimiento de las condiciones del sistema y que serán la base para la toma de decisiones, en caso de presentarse problemas operativos, estos son:

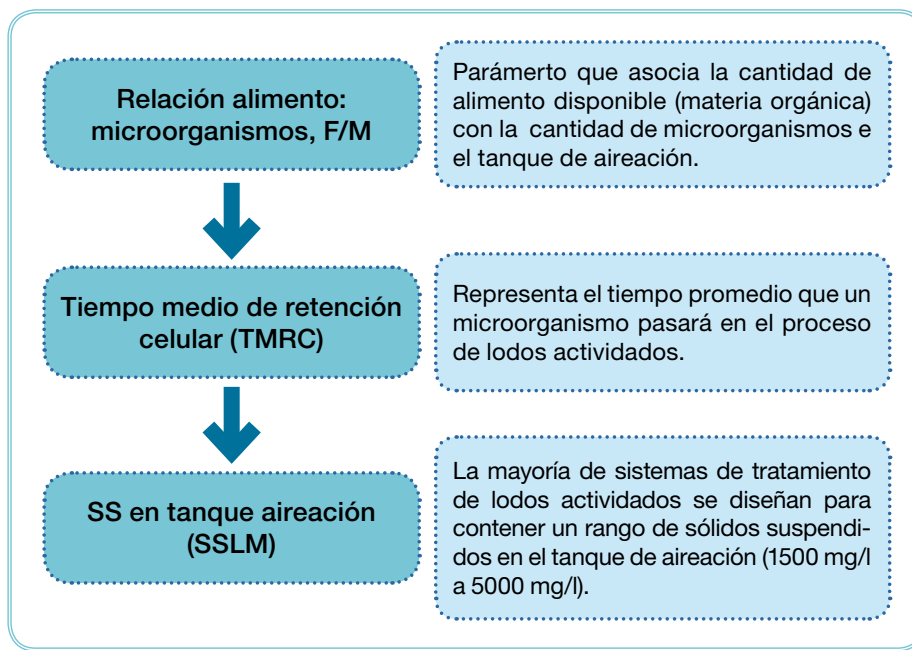


Figura 48. Parámetros para el control del proceso de lodos activados.
Fuente: Marín, 2013

Para determinar los valores de estos parámetros de medición es necesario realizar el monitoreo de las características fisicoquímicas del agua residual que ingresa y sale del proceso de lodos activados (se discutieron en el capítulo 1) y del lodo activado en el sedimentador secundario. Existen varias metodologías de cálculo, en el anexo 1, se muestra un ejemplo sencillo, de cómo utilizarlas.

Para visualizar la aplicación del proceso lodos activados dentro de un sistema colectivo de tratamiento, se presenta la siguiente figura, donde se incorporan las etapas de pretratamiento, tratamiento primario y la disposición final de lodos y efluente, al proceso secundario de tratamiento.

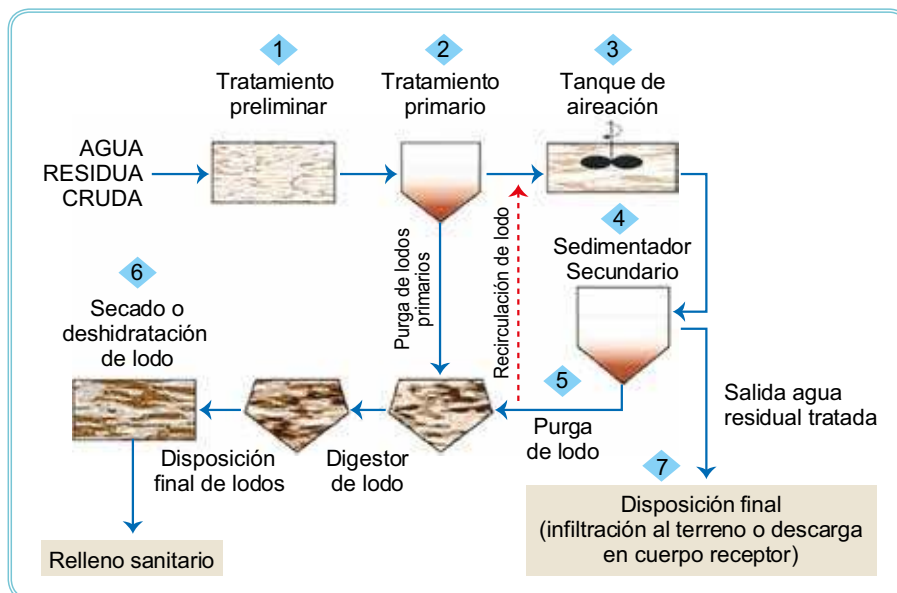


Figura 49. Diagrama de un sistema colectivo de tratamiento, utilizando lodos activados.
Fuente: Marín, 2013

El sistema de lodos activados convencional ocupa áreas pequeñas y presenta elevadas eficiencias de remoción, sin embargo se requiere personal capacitado para su operación, y un mayor consumo energético por los sistemas de aireación (Sperling, 2012). Esto se traduce en costos de operación y mantenimiento más elevados que otros sistemas.

Existen diversas variantes del sistema de lodos activados, como la aireación extendida, el canal de oxidación, el reactor discontinuo secuencial, así como otras para la remoción de compuestos específicos, desarrolladas para aguas residuales de tipo especial.

En el caso de lodos activados con aireación extendida, los aspectos que hacen la diferencia son:

- ◆ No hay tratamiento primario.
- ◆ Y la edad del lodo en esta variante tiene un rango de 18 a 30 días, con esto se obtiene un lodo de purga ya estabilizado, que no requerirá una digestión posterior en el proceso de disposición final.

Las principales ventajas del proceso de aireación extendida son:

- ◆ Es un proceso muy eficiente en cuanto a remoción de $\text{DBO}_{5,20}$ entre un 80 y 95 %. (Marín, 2013)
- ◆ Se obtiene un lodo de purga ya estabilizado.

Entre los aspectos negativos que presenta la implementación esta variante se encuentran, un mayor consumo de energía por la aireación requerida, ya que el lodo es estabilizado aeróbicamente en el tanque de aireación, y el requerimiento de un mayor volumen del tanque de aireación, al presentar mayores tiempos retención.

Otra variante del proceso de lodos activados es el **reactor discontinuo secuencial**, su diferencia radica en tener una operación intermitente, en lugar de continua como en un sistema convencional –siempre hay una entrada y salida de agua residual para tratar–, en algunas ocasiones estos reactores reciben el nombre de SBR, por sus siglas en inglés *Sequencing Batch Reactor*.

El principio del proceso de lodos activados con operación intermitente consiste en la incorporación de todas las unidades, procesos, y operaciones asociadas al tratamiento convencional de lodos activados (sedimentación primaria, tratamiento biológico, sedimentación secundaria y bombeo de lodos) en un único tanque, esto implica que las etapas de tratamiento sean secuenciales y no separadas y continuas como sí lo son en el tratamiento de lodos activados convencional.

El proceso se desarrolla como se indica en la figura 50, donde en una estructura ocurren todas las etapas de tratamiento.

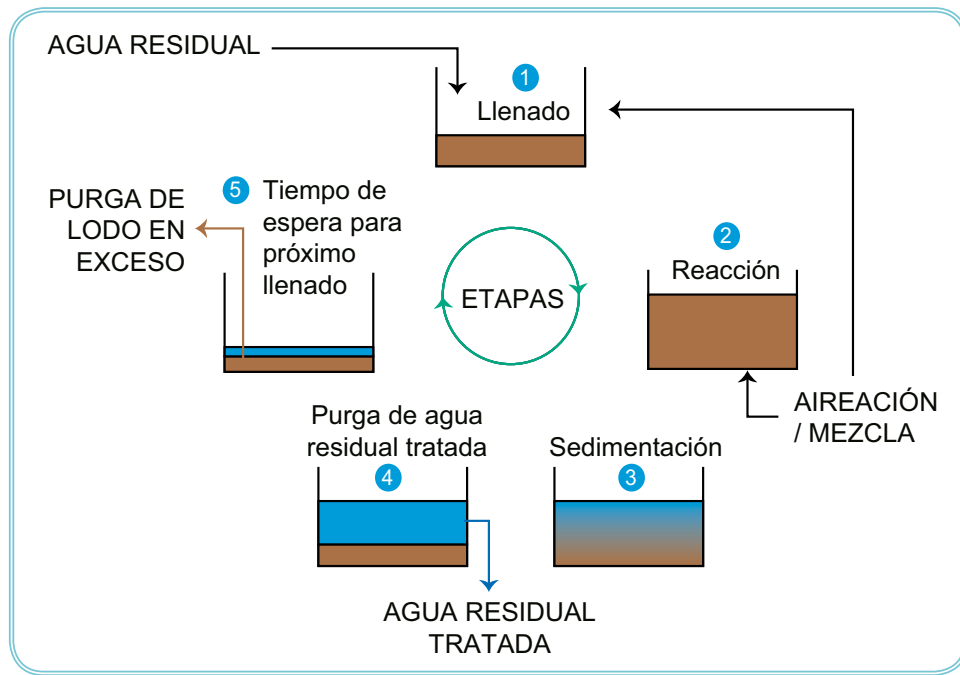


Figura 50. Esquema del proceso de tratamiento en un reactor discontinuo secuencial.
Fuente: CAMIX Technology, 2015

- ♦ **Llenado:** ingreso de agua residual cruda al reactor
- ♦ **Reacción:** se inyecta aire al reactor para provocar la mezcla y garantizar la aireación de los microorganismos presentes encargados de llevar a cabo la biodegradación de la materia orgánica.
- ♦ **Sedimentación:** separación de los sólidos en suspensión del agua residual tratada.
- ♦ **Vaciado o purga de agua residual tratada:** evacuación del agua residual tratada del reactor.
- ♦ **Reposo o tiempo de espera:** etapa final, se realiza la remoción del lodo excedente y además se puede utilizar para ajustar el tiempo de las otras etapas.

En el siguiente cuadro 6, se muestra un resumen de las principales características del proceso de lodos activados y las variantes descritas.

Cuadro 6. Características del proceso de lodos activados y sus variantes. (Marín, 2013)

Proceso	Características	SSLM (mg/l)	TMRC	Observaciones
Lodos activados convencional	En cualquier parte del tanque de aireación, la cantidad de alimento, microorganismos y aire debe ser igual.	2500-4000	5-15	Proceso utilizado en el tratamiento de aguas residuales ordinarias, sensible a la entrada de altas concentraciones de carga orgánica. La eficiencia de remoción de la $DBO_{5,20}$ está entre 85% y 95%.

Proceso	Características	SSLM (mg/l)	TMRC	Observaciones
Aireación extendida	Teóricamente no hay crecimiento de biomasa en exceso, sin embargo en la práctica hay un aumento de material no degradable que se ser removido periódicamente, para evitar el aumento en la concentración de sólidos de los efluentes.	3000-6000	20-30	Esta variante se aplica en caudales inferiores a 45 l/s, ya que se requieren tanques de aireación de grandes volúmenes. La eficiencia de remoción de la $DBO_{5,20}$ está entre 85% y 95%.
Reactor discontinuo secuencial	Es un sistema que consta de un solo tanque en donde ocurren todas las etapas de un proceso de lodos activados (aireación y sedimentación)	1500-5000	5-15	Este es un proceso flexible que puede aplicar en aguas residuales de tipo ordinario y de tipo especial. Para la eliminación de nitrógeno y fósforo en caudales pequeños. La eficiencia de remoción de la $DBO_{5,20}$ está entre 60 % y 75%.

4.2.3.2. Lagunas de estabilización

Los sistemas lagunares son cuerpos de agua artificiales, que se pueden utilizar de manera individual o en conjunto o en serie, para un mejor tratamiento (Tilley, 2010). El funcionamiento de los sistemas lagunares se basa en el proceso de fotosíntesis, la capa de agua superior de las lagunas está expuesta a la luz, esto permite la existencia de algas microscópicas que producen el oxígeno necesario para el desarrollo y conservación de las bacterias aerobias. Estas bacterias son responsables de la degradación de la materia orgánica. El dióxido de carbono (CO_2) formado por las bacterias, así como las sales minerales contenidas en las aguas residuales, permiten a las algas multiplicarse. De este modo, hay una proliferación de dos poblaciones interdependientes: las bacterias y las algas. Este ciclo es autosuficiente siempre y cuando el sistema reciba energía solar y materia orgánica.

En el fondo de la laguna, donde la luz no penetra, se encuentran las bacterias anaerobias que degradan los sedimentos procedentes de la sedimentación de la materia orgánica. Se produce a ese nivel una liberación de dióxido de carbono (CO_2) y de gas metano (CH_4) (Oficina internacional del agua, 2001).

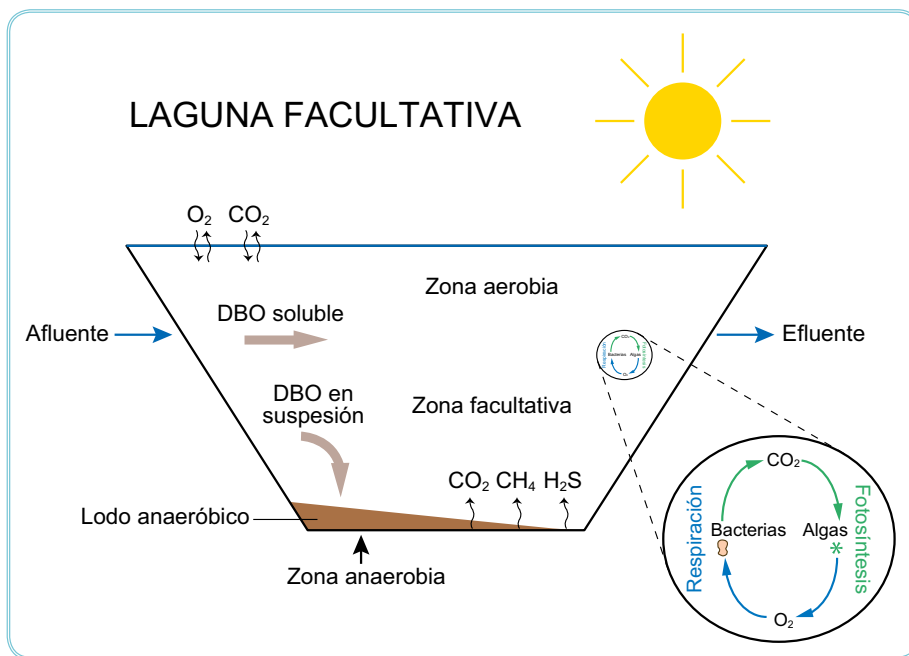


Figura 51. Ilustración de los componentes de un laguna facultativa.

Fuente: Centeno, E. Grupo PROAMSA. Manual de Operador: PTAR Sistema Lagunar de San Isidro de Pérez Zeledón. 2014

Los sistemas de tratamiento lagunares, en general, se pueden clasificar en relación con la disponibilidad de oxígeno, de la siguiente forma:

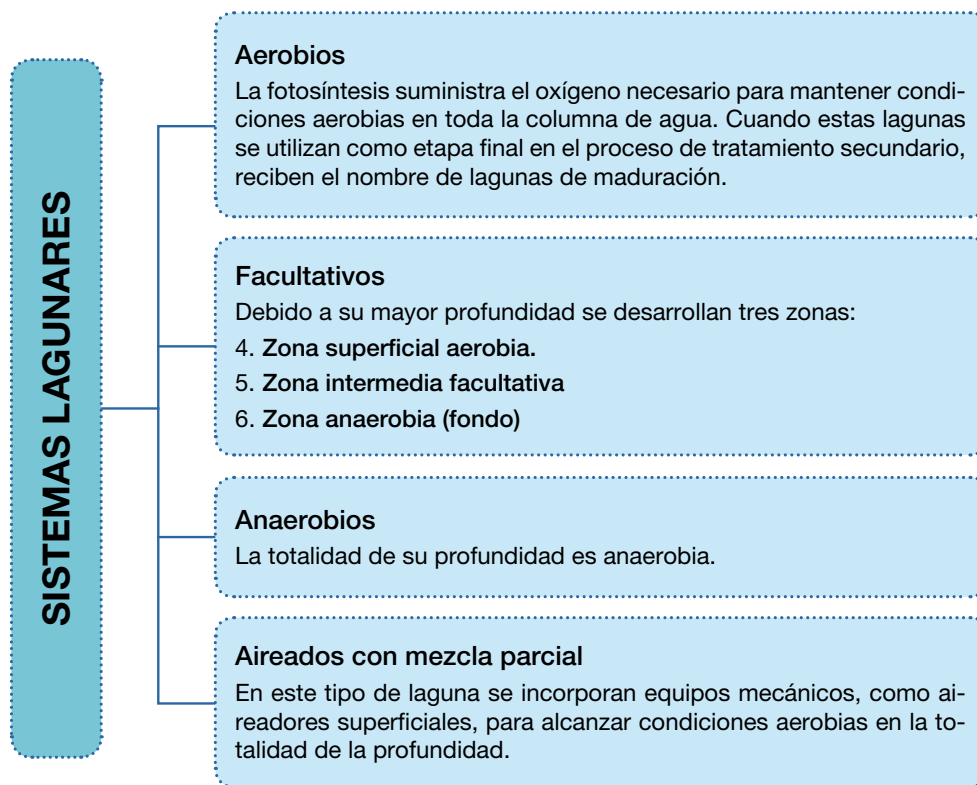


Figura 52. Tipos de sistemas lagunares, según la disposición de oxígeno.

Fuente: Crites, 2000

Lagunas anaerobias

Generalmente, estas lagunas son anaerobias en toda su profundidad excepto en una estrecha franja cercana a la superficie, el proceso de tratamiento se consigue por una combinación de la operación de sedimentación y la biodegradación anaerobia –presencia de microorganismos anaerobios– de la materia orgánica en productos como metano, dióxido de carbono, nuevos microorganismos y otros productos gaseosos.

Se aplican a aguas residuales con altos contenidos de materia orgánica y sólidos. Generalmente, son estanques profundos (de 2 a 5 metros), con tuberías de entrada y salida adecuadas, que en condiciones óptimas de funcionamiento pueden alcanzar porcentajes de remoción de carga de hasta 85 %. (Metcalf y Eddy, 1996)

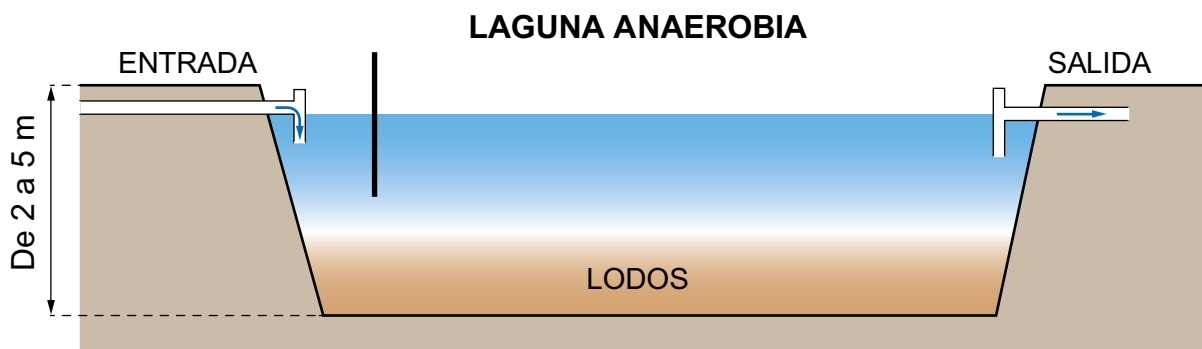


Figura 53. Esquema laguna anaerobia,
Fuente: Tilley, 2010

Lagunas facultativas

En este tipo de sistema lagunar el tratamiento de las aguas residuales se lleva a cabo mediante la combinación de bacterias facultativas, anaerobias y aerobias, por esta razón en una laguna facultativa se encuentran tres zonas: 1) zona superficial, en la que existen bacterias aerobias y algas; 2) zona inferior anaerobia, donde se descomponen los lodos acumulados por medio de las bacterias anaerobias presentes y 3) zona intermedia aerobia-anaerobia, la descomposición de la materia orgánica la realizan los microorganismos facultativos (Metcalf & Eddy, 1996).

Las profundidades típicas de las lagunas facultativas son de 1,5 a 2,0 metros, el proceso de tratamiento es esencialmente natural, no se requieren equipos adicionales, esto tiene como desventaja un elevado tiempo de residencia del agua residual en la laguna (superior a 20 días), que conlleva la construcción de grandes unidades, donde el requerimiento de espacio es mayor en comparación a los otros sistemas lagunares. Lo anterior también lo hace un proceso relativamente simple de operar (Sperling, 2012).

Las lagunas de estabilización de aguas residuales constituyen un sistema biológico que depende en gran medida de la influencia de los rayos solares, por efecto de estos se da el crecimiento de las algas que asimilan algunos nutrientes y proveen oxígeno al agua, con este oxígeno las bacterias degradan la materia orgánica; debido a esa presencia de algas, la calidad del vertido variará según el momento del día; es decir, cuando hay mayor radiación solar hay mayor cantidad de algas, por eso el color verde de las aguas que salen de un sistema lagunar, en la figura 54 se muestra un ejemplo de variaciones diarias en la calidad de algunos parámetros esenciales. Entonces, en algunos momentos

del día los parámetros estarán altos y en otros bajos pero eso no significa que el agua no esté depurada, sino que hay mayor o menor cantidad de algas.

Por esto usualmente se utilizan métodos para separar las algas del agua antes de su vertido.

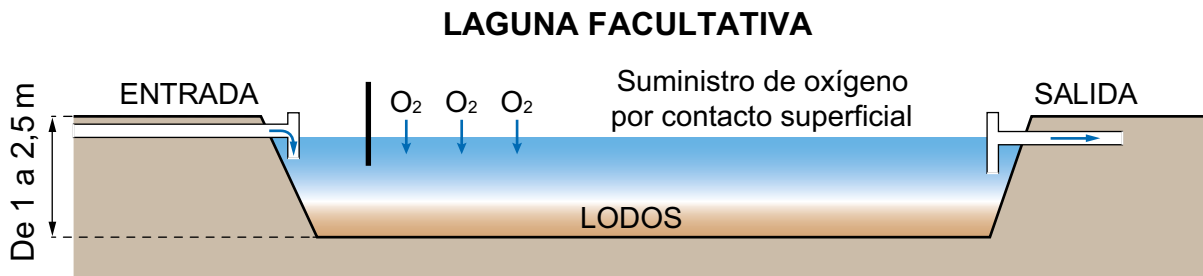
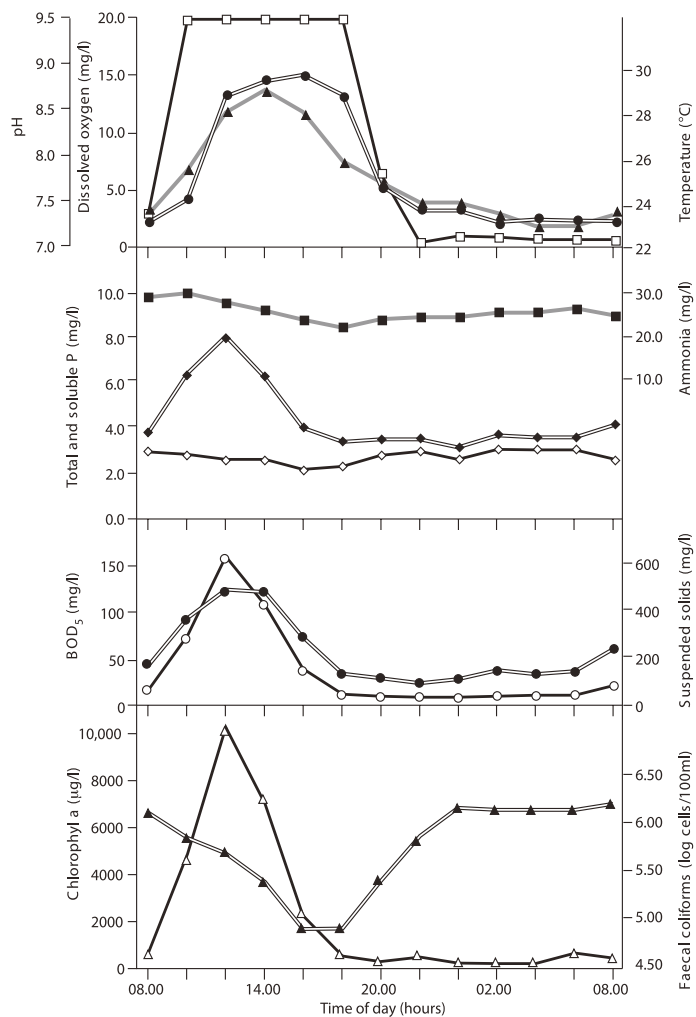


Figura 54. Esquema laguna facultativa.
Fuente: Tilley, 2010



Note: □, dissolved oxygen; ▲, pH; ●, temperature; ■, ammonia; ◆, total and ◇, soluble phosphorus; ●, BOD; ○, suspended solids; △, chlorophyll a; and ▲, faecal coliforms.

Figura 55. Comportamiento diario de la calidad de un efluente de agua residual tratado por medio de lagunas facultativas.

Fuente: Mara, D. Domestic Wastewater in Developing Countries, 2003

Lagunas aerobias

Las lagunas aerobias son de poca profundidad, utilizan bacterias y algas en suspensión en condiciones aerobias para el tratamiento del agua residual. Para mejorar la eficiencia de remoción se recomienda realizar mezclas periódicas, ya sea por medio de bombas o de aireadores superficiales según Metcalf y Eddy (1996), en este caso reciben el nombre de lagunas aireadas.

Cuando estas lagunas tienen como objetivo principal la remoción de organismos patógenos y una función de pulimiento; se les denominan lagunas de maduración, diversos factores contribuyen a ello como la temperatura, pH, escasez de alimento, organismos predadores, entre otros.

Las lagunas de maduración se construyen con profundidades inferiores a un metro. (Sperling, 2012)

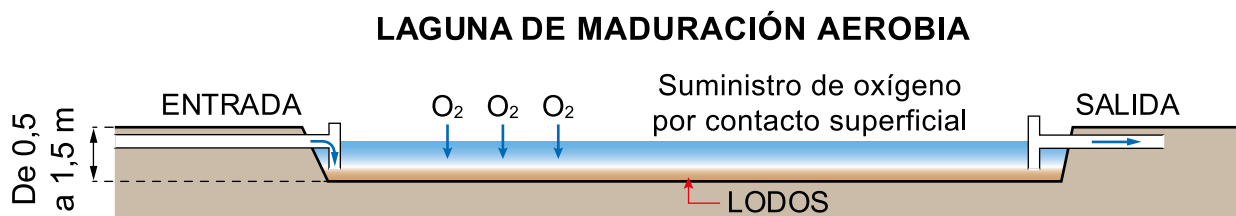


Figura 56. Esquema laguna aerobia.
(Fuente: Tilley, 2010)

La tecnología de tratamiento con lagunas se utiliza principalmente en comunidades pequeñas, sin embargo, las lagunas aerobias con aireación y las lagunas facultativas se pueden aplicar en el tratamiento de caudales mayores.

En los sistemas lagunares, es recomendable realizar inspecciones rutinarias donde se revisen aspectos como:

- El caudal tratado
- El aspecto del agua residual de entrada y del efluente de la laguna.
- Revisión visual de la laguna en general y detección de la presencia de malos olores.
- Revisión de la obra civil, verificar que no existen anomalías y en caso de contrario realizar el reporte inmediato al responsable de la planta de tratamiento.
- Revisión de los equipos de pretratamiento y realizar la limpieza en caso de requerirlo.

Las inspecciones rutinarias que se realicen deben tener un respaldo escrito; por esta razón, es importante que los operadores cuenten con una bitácora, además este material es un requisito solicitado en el Reglamento de Vertido y Reuso de Agua Residual.

Adicionalmente, como rutinas propias de mantenimiento se debe realizar el retiro de material flotante, según sea necesario y estos residuos se deben disponer adecuadamente ya sea tratándolos en el sitio o enviándolos a un relleno sanitario. También es importante cortar periódicamente la maleza y plantas que crecen alrededor de las lagunas, la revisión del estado de los taludes. Por último, se requiere retirar el lodo en exceso del fondo de las lagunas cada cierto tiempo (5-10 años) (Ortega de Miguel, 2010).

Los problemas que pueden presentarse en las lagunas, pueden ser el resultado de cambios en el agua residual de entrada, su caudal o su composición, o como consecuencia de un mal mantenimiento.

Un aumento excesivo de caudal o sobrecarga hidráulica, trae como consecuencia tiempos de retención inferiores a los previstos en las distintas lagunas y provocando bajos porcentajes de remoción de carga. Aumentando el número de lagunas anaerobias en operación, siempre que la planta de tratamiento disponga de varias de estas unidades, se corrige el impacto del incremento de caudal sobre la etapa anaerobia. Lo mismo puede hacerse si la instalación consta de varias unidades facultativas y de maduración; si solo se dispone de lagunas anaerobias, lagunas facultativas y de maduración, únicas, puede recurrirse a la variación de la altura de lámina de agua en las mismas, con lo que se incrementa el volumen de trabajo y, por tanto, los tiempos de retención.

En situaciones de aumentos excesivos de la carga orgánica de entrada, darán lugar a sobrecargas de las distintas lagunas. Dichas sobrecargas en lagunas anaerobias originarán una intensificación en los olores que desprenden y en las lagunas facultativas y de maduración producirán la variación de la típica coloración verdosa, apareciendo tonalidades marrón-rosáceas, presencia de burbujeo en la masa líquida y generación de malos olores.

Ante fenómenos de sobrecarga orgánica se procederá como en el caso de sobrecarga hidráulica y si se detectan tonalidades rosáceas en las etapas facultativa o de maduración, se procederá a disminuir e incluso anular totalmente, la alimentación a estas lagunas, no restableciéndose hasta que no se recupere la tonalidad verdosa característica.

Si las tonalidades rosáceas se detectan en la etapa facultativa pero no en la posterior maduración, puede recurrirse a la recirculación de las aguas, desde las lagunas de maduración a las lagunas facultativas. (Secretariado Alianza por el Agua, 2008)

Entre los problemas derivados del mal mantenimiento destacan, según el Secretariado Alianza por el Agua, 2008:

- ♦ **Aparición de flotantes.** Aunque no es normal que llegue a constituir un problema en sí, lo son las consecuencias que pueden derivarse de su existencia, como la aparición de mosquitos o el impedimento a la penetración de la radiación solar.
- ♦ **Aparición de malas hierbas.** La aparición de malas hierbas en los taludes interiores de las lagunas acarrea dos consecuencias negativas como la aparición de mosquitos y la posibilidad de servir de contención a los flotantes provocando su acumulación. La eliminación de estas hierbas puede efectuarse mediante el empleo de herbicidas o por medios mecánicos.
- ♦ **Acumulación de fangos.** Esta acumulación tiene lugar, fundamentalmente, en el fondo de las lagunas. La frecuencia de extracción dependerá del nivel de lodos, el cual se debe monitorear anualmente y no debe superar el 40% de la altura útil de la laguna.

Las ventajas de un sistema lagunar son:

- ♦ Costos de inversión inicial bajos.
- ♦ Consumo energético bajo o nulo, en caso que no utilicen equipos para aireación o bombeo.
- ♦ La capacitación del personal encargado de la operación es sencilla básica.
- ♦ La extracción y disposición final del lodo se debe realizar en lapsos de tiempo prolongados, de 5 a 10 años.

Estos sistemas de tratamiento también presentan algunas desventajas como:

- ♦ Requiere grandes extensiones de terreno para su instalación.

- Se puede desarrollar una elevada concentración de algas en los efluentes de estos sistemas, que en caso de no removerse pueden causar incumplimiento de la normativa de vertido.
- Se puede presentar contaminación de aguas subterráneas, si no se impermeabiliza adecuadamente o si el material de recubrimiento se daña. (Crites, 2000)

El lagunaje constituye en definitiva un sistema natural de tratamiento con un costo mínimo de operación y mantenimiento, lo que le hace especialmente atractivo para el tratamiento de las aguas de aquellas poblaciones urbanas que carecen de los recursos técnicos y financieros para hacer frente a tecnologías de tratamiento más sofisticadas. (Secretariado Alianza por el Agua, 2008)

4.2.3.3 Reactores Anaerobios

Existen diferentes tecnologías de tratamiento anaerobio que ocurre en ausencia de oxígeno, por lo que no requiere equipo de aireación.

Una de las alternativas para el tratamiento de agua residual por medio de procesos anaerobios, es el reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB, Upflow Anaerobic Sludge Blanket). En este tipo de reactor el agua residual ingresa por la parte inferior, fluye en sentido ascendente a través de un manto de lodo constituido por flóculos o partículas formadas biológicamente. El tratamiento se produce al entrar en contacto el agua residual y el lodo.

Los gases producidos en condiciones anaerobias (CO_2 y CH_4) provocan una circulación interior que colabora en la formación y mantenimiento de los flóculos y otra fracción se adhiere a las partículas biológicas.

Tanto el gas libre como el adherido a las partículas ascienden a la parte superior del reactor, aquí entran en contacto con deflectores que propician la separación del gas. Los gases separados se almacenan en un área en la parte superior del reactor, donde el biogás puede ser utilizado o quemado para evitar la liberación de CH_4 , por su contribución como gas de efecto invernadero. En la figura 56 se ilustra la descripción de un UASB.

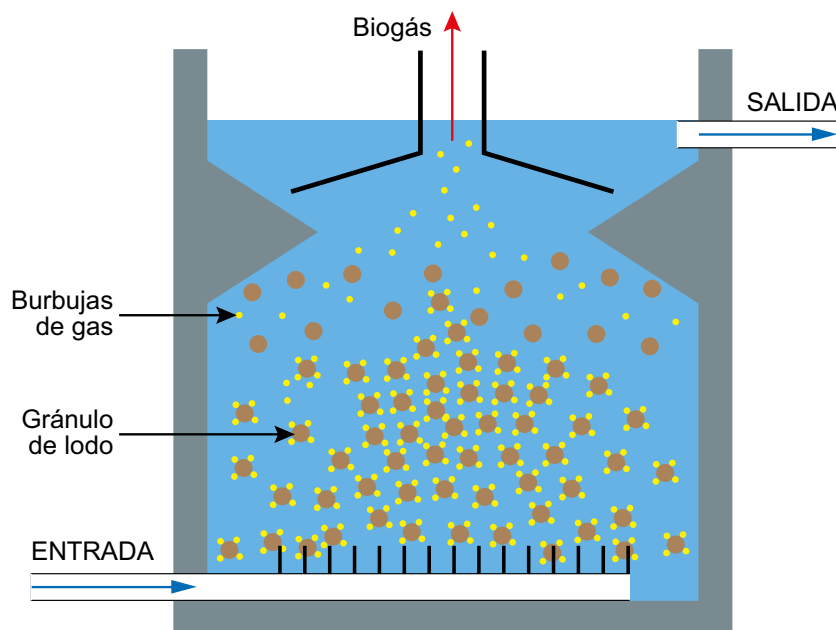


Figura 57. Diagrama UASB.
Fuente: Tilley, 2010

El porcentaje de remoción esperado en un UASB, es de un 75 a 85 %, para mantener el manto de lodo en suspensión es necesario que la velocidad del flujo ascendente tenga un valor entre 0.6 y 0.9 m/h. (Metcalf y Eddy, 1996)

La operación y el mantenimiento del UASB, que es una tecnología de tratamiento centralizado, deben ser llevados a cabo por profesionales; una de las tareas de mayor importancia, es el control y monitoreo de la altura del manto de lodo, lo que definirá la necesidad y frecuencia de purga de lodos en exceso.

Además, este sistema requiere de una alimentación controlada y un monitoreo especializado, al menos en la etapa de arranque o puesta en marcha de la unidad.

A continuación se presentan las ventajas y desventajas de esta tecnología de tratamiento:

Ventajas

- ♦ Alta reducción de la materia orgánica.
- ♦ Baja producción de lodos.
- ♦ Se puede usar el biogás como fuente de energía.

Desventajas

- ♦ Tiempo de arranque prolongado.
- ♦ El tratamiento puede ser inestable ante cambios de caudal o carga orgánica.

4.2.3.4 Nuevas tecnologías

A nivel global el tratamiento de aguas residuales es muy dinámico y se desarrollan continuamente nuevas tecnologías de tratamiento, con ventajas significativas en cuanto a porcentajes de remoción de carga orgánica, menor producción de lodo y espacio requerido para su instalación; en comparación con las tecnologías de tratamiento convencional, este es el caso de los procesos de tratamiento que se describen a continuación.

Reactor biológico de membrana (MBR)

En un principio, la tecnología de membrana tenía limitado su uso por factores como el elevado costo de inversión inicial y de operación, así como por el inadecuado conocimiento de las ventajas potenciales de las membranas en el tratamiento de las aguas residuales. Sin embargo, la aparición de módulos de membrana menos costosos y más efectivos, hicieron que se volviera a tener interés en la tecnología de membrana. (Velasco y Solar, 2011)

El término “Reactor biológico de membrana (MBR)” se refiere a la combinación de un proceso de lodos activados con un proceso de separación mediante membranas. Su origen se basa en el funcionamiento de un sistema de lodos activados convencional y en lugar de tener un sedimentador secundario para separar el agua residual tratada del lodo activado, se utiliza una membrana, esto le confiere algunas ventajas como:

- ♦ Se reduce el espacio de instalación.
- ♦ Se evitan problemas operacionales relacionados con la sedimentación de lodo.
- ♦ Se obtienen efluentes de alta calidad.

- Se puede instalar dentro de plantas existentes, sin necesidad de obra civil adicional.
- Alta estabilidad ante aumentos de carga orgánica.

De acuerdo con lo anterior, un MBR está compuesto por dos partes principales:

- *Reactor biológico o tanque de aireación* es el responsable de la biodegradación de los contaminantes presentes en el agua residual.
- *Módulo de membranas* es el encargado de llevar a cabo la separación física del agua residual tratada del lodo activado.

Los reactores biológicos de membrana comúnmente se pueden instalar de dos formas:

- Los reactores biológicos de membrana integrada o sumergida ayudan a la unidad de membrana que realiza la separación física y está inmersa en el tanque biológico. Generalmente se coloca un difusor de aire justo debajo del módulo de la membrana para suministrar el aire necesario para homogeneizar el contenido del tanque, para el proceso biológico y para la propia limpieza de la membrana (Figura 58.a). (Velasco, 2011)
- El reactor biológico de membrana externo o con recirculación permite que la mezcla sea recirculada desde el biorreactor hasta la unidad de membrana que se dispone externamente a la unidad biológica. (Figura 58.b). (Velasco, 2011)

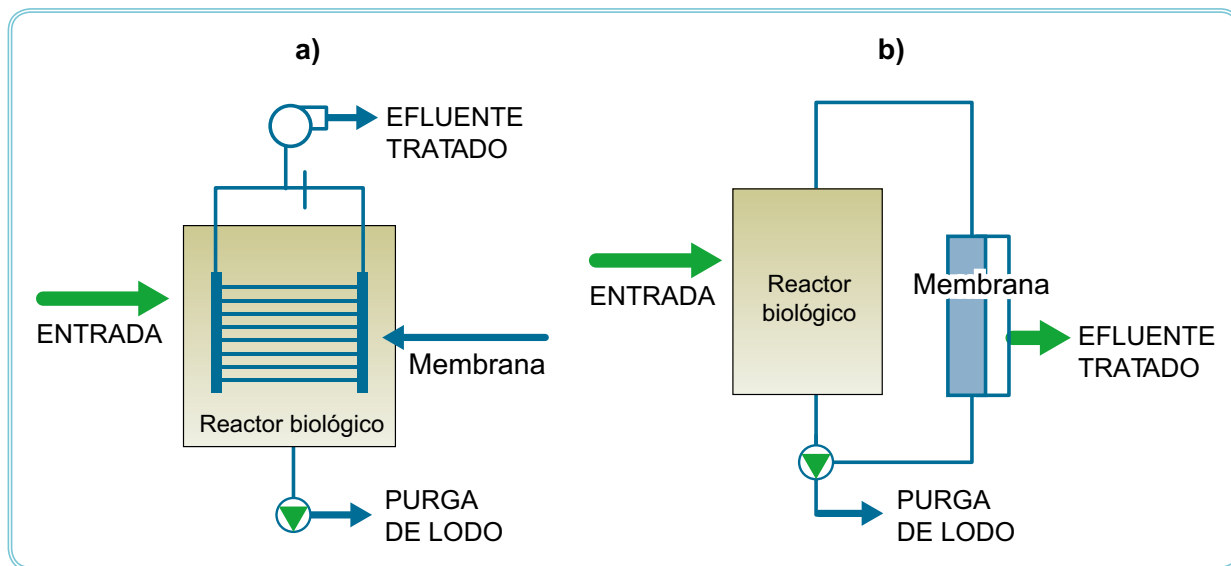


Figura 58. Reactores biológicos de membrana (MBR), ubicación de la membrana, a) interior del reactor o tanque de aireación y b) como unidad separada.

Al considerar utilizar este tipo de tecnología, se debe sopesar el costo total, es decir, costo de inversión inicial, los costos de mantenimiento de membranas, los indirectos como producción de lodos, por ejemplo, y los costos de operación y mantenimiento de los equipos electromecánicos ya sean bombas, tuberías e instrumentación asociada.

Reactor de lecho bacteriano móvil (MBBR)

Esta tecnología emplea un mecanismo de lodos activados en el tanque de aireación donde se incorporan pequeñas estructuras plásticas, que también reciben el nombre de biosoportos, biomed

o portadores de biomasa, y que ayudan a incrementar la capacidad de tratamiento al aumentar la concentración de biomasa en el reactor.

Lo anterior se logra porque las estructuras plásticas son capaces de concentrar una cantidad considerable de microorganismos que permiten reducir los requisitos de tamaño. Cuando las comunidades de microorganismos crecen en la superficie de la estructura plástica, reciben el nombre de biopelícula. Estos portadores de biopelícula se suspenden y se mezclan en el tanque de aireación.

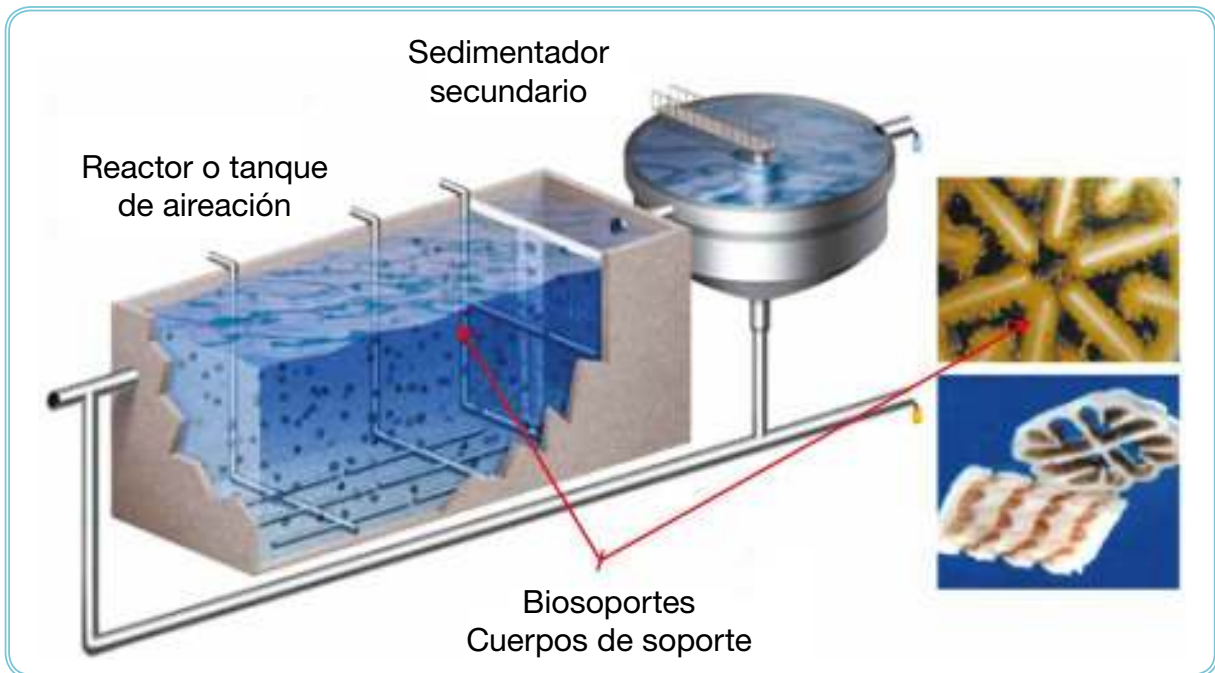


Figura 59. Diagrama de un sistema MBBR.
(Fuente: Marín, 2013)

Algunas ventajas que ofrece esta tecnología son:

- ◆ Se puede trabajar en condiciones de cargas orgánicas elevadas sin problemas de obstrucción.
- ◆ Se pueden tratar aguas residuales ordinarias y especiales en espacios relativamente pequeños.
- ◆ Es posible aumentar la capacidad de tratamiento del sistema sin necesidad de ampliar los tanques existentes.
- ◆ En condiciones adversas de operación como elevadas cargas orgánicas o ingreso de sustancias tóxicas, es posible recuperar y estabilizar el proceso de la planta de manera rápida y continua, ya que la población microbiológica no se ve afectada en su totalidad.
- ◆ La aireación evita la presencia de malos olores y los problemas de bloqueo o saturación que podrían provocar las estructuras plásticas al interior del reactor. (Marín, 2013)

Lodos activados integrado con biopelícula fija (IFAS)

El proceso de lodos activados en película fija integrada (IFAS) combina las ventajas del proceso de lodos activados convencional con las ventajas de los sistemas de biopelícula, mediante la combinación de las dos tecnologías en un solo reactor. (Sustainable Sanitation and Water Management, s.f.)

Un proceso IFAS proporciona biomasa adicional con el propósito de aumentar la capacidad del sistema. IFAS ofrece un enfoque práctico y con frecuencia rentable para mejorar el rendimiento de tratamiento en instalaciones con limitaciones de espacio. (Jenkins & Sanders, 2012)

El proceso IFAS está sujeto al control de la biomasa a través de un sistema de retorno de lodo activado y se puede aplicar a casi cualquier tipo de esquema de tratamiento. Se ha utilizado principalmente en las zonas aerobias de los procesos de tratamiento para mejorar los porcentajes de remoción de $DBO_{5,20}$ y los procesos de denitrificación.

Este proceso se diferencia de los MBBRs por la incorporación del retorno de lodos activados al tanque de aireación, para mantener concentraciones de sólidos suspendidos en el licor de mezcla típicas de los procesos convencionales de lodos activados. (Jenkins, 2012)

En la figura 60 se muestra un esquema que indica los elementos que componen un sistema de tratamiento IFAS.

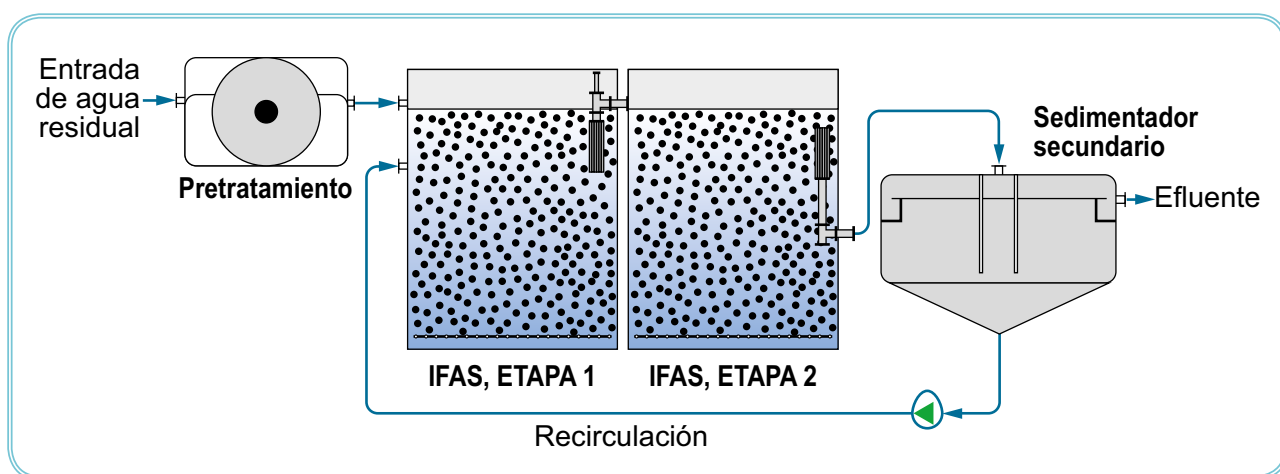


Figura 60. Proceso de tratamiento IFAS, componentes.
Fuente: Bioprocess, 2015

4.3. Resumen

La implementación de cualquier tecnologías de tratamiento de aguas residuales requiere de personal capacitado, de un control operacional periódico y de mantenimiento preventivo para cumplir con los porcentajes de remoción de contaminantes esperados y mantener el sistema de tratamiento en condiciones adecuadas que no cause molestias a los vecinos y los impactos al ambiente sean mínimos.

Los sistemas colectivos de tratamiento requieren previamente la implementación de unidades para pretratamiento y tratamiento primario, donde se remuevan los contaminantes que los microorganismos no son capaces de biodegradar. Además, es necesaria la instalación de un alcantarillado sanitario que permita transportar el agua residual de la fuente generadora a la planta de tratamiento y, al igual que en sistemas individuales, no se puede dejar de lado el manejo, tratamiento y disposición final de los residuos sólidos producto de las diferentes etapas de tratamiento y la adecuada disposición final de descarga o vertido del agua residual tratada, según lo establecido en la legislación nacional.

Conceptos de interés

Nitrificación: proceso de oxidación biológica donde el amonio (NH_3) se convierte en nitrito (NO_2^-) y, finalmente, pasa a nitrato (NO_3^-), por la acción de bacterias nitrificantes.

Sistemas de biopelícula: se refiere a procesos biológicos que utilizan un medio plástico para el desarrollo de microorganismos; el agua residual entra en contacto con el medio plástico lo que propicia el crecimiento de los microorganismos, los cuales se adhieren a la superficie, formando una capa de microorganismos que constituye una película biológica. Estos microorganismos se alimentan de la materia orgánica disuelta en el agua residual.



CAPÍTULO 5.

Legislación nacional

5.1 Introducción

En Costa Rica, se cuenta con un ordenamiento jurídico constituido por una serie de normas que determinan el comportamiento de los ciudadanos en el campo social, económico, político y jurídico. El incumplimiento de estas normas implica sanciones por parte de las autoridades correspondientes.

La Constitución Política, los tratados internacionales, las leyes, decretos, y reglamentos son ejemplos de las leyes y normas que conforman el ordenamiento jurídico.

En Costa Rica, el orden jerárquico de estas normas se ajusta a la pirámide propuesta por el profesor austríaco Hans Kelsen, según como se indica en la figura 61.



Figura 61. Orden jerárquico según Hans Kelsen.
Fuente: Sala Constitucional Corte Suprema de Justicia, 2015

En el caso particular de aguas residuales es posible encontrar una amplia gama de normas y leyes vigentes que tienen como finalidad, mejorar la gestión del saneamiento y, de esta forma, procurar una mejor calidad de vida para la ciudadanía.

En las siguientes secciones se resumen algunos aspectos de interés de los componentes del ordenamiento jurídico relacionados directamente con la gestión de las aguas residuales ordinarias, con el propósito de que los lectores de esta guía cuenten con un panorama básico de la reglamentación vigente en Costa Rica, que permita su aplicación y cumplimiento.

5.2 Constitución Política

Según se puede interpretar de la figura 60, la Constitución Política constituye la máxima ley del país; es decir, que toda ley, decreto, reglamento o norma vigente debe respetar lo estipulado en este documento. El artículo 50 de la Constitución Política dice lo siguiente:

El Estado procurará el mayor bienestar a todos los habitantes del país, organizando y estimulando la producción y el más adecuado reparto de la riqueza.

Toda persona tiene derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado. Por ello, está legitimada para denunciar los actos que infrinjan ese derecho y para reclamar la reparación del daño causado.

El Estado garantizará, defenderá y preservará ese derecho. La ley determinará las responsabilidades y las sanciones correspondientes.” (Ref. Const. 7412 de 3 de junio de 1994)

5.3 Tratados o convenios internacionales

Un tratado internacional es un acuerdo entre dos o más países, o entre un país y una organización internacional, en virtud del cual los signatarios se comprometen a cumplir con determinadas obligaciones. (Ministerio de Asuntos Exteriores y Cooperación, s.f.)

El Protocolo de Kioto sobre el cambio climático, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) y la Cumbre de la Tierra de Río de Janeiro, son ejemplos de tratados internacionales vigentes en nuestro país. (Acuerdos y Convenios Internacionales relacionados con la Información Censal, s. f.)

5.4 Leyes

Dentro del conjunto de leyes se pueden destacar en el ámbito de interés, la Ley General de Salud (N° 5395), la Ley Forestal (N° 7575) y la Ley de Aguas (N° 276).

De acuerdo con el artículo 285 de la Ley General de Aguas *“las excretas, las aguas negras, las servidas y las pluviales, deberán ser eliminadas adecuada y sanitariamente a fin de evitar la contaminación del suelo y de las fuentes naturales de agua para el uso y consumo humano, la formación de criaderos de vectores y enfermedades y la contaminación del aire mediante condiciones que atenten contra su pureza o calidad.”*

Además esta ley indica en el artículo 287 lo siguiente: *“Toda persona, natural o jurídica, propietaria de viviendas o de establecimientos o edificios en que las personas desarrollen sus actividades,*

responderá de que tales bienes dispongan de un sistema de disposición de excretas y de aguas negras y servidas aprobado por el Ministerio y los usuarios de viviendas, establecimientos o edificios estarán obligados a mantener dicho sistema en buenas condiciones de funcionamiento.”

5.5 Reglamentos

Para la gestión y aplicación de las leyes se desarrollan reglamentos, siendo de interés los que se mencionan a continuación.

5.5.1 Reglamento de Aprobación y Operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales (N° 39887-S-MINAE)

El reglamento de Aprobación y Operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales brinda los lineamientos generales para otorgar los permisos de ubicación y construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Algunos aspectos regulados por este reglamento son los siguientes:

- Información que se debe aportar para solicitar el permiso de ubicación.
- Tecnologías de tratamiento permitidas para realizar la disposición final de efluentes tratados.
- Retiros mínimos en relación a cuerpos de agua colindantes y linderos de la propiedad.
- Otros requerimientos en relación con la ubicación del sistema de tratamiento como el fácil acceso del personal, el equipo y vehículos requeridos para realizar la operación y mantenimiento necesarios, autorización de Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencia y la aprobación del Ministerio de Salud, en casos donde los sistemas se ubiquen en áreas inundables o sitios de alto riesgo.
- Tiempos de respuesta ante presentación de solicitudes para permisos de ubicación, duración del permiso de ubicación, entre otros.
- Información requerida para solicitar la aprobación de proyectos de tratamientos de aguas residuales.
- Elementos mínimos que deben incluirse en los planos constructivos del sistema de tratamiento.
- Formato que debe tener la memoria de cálculo y el manual de operación y mantenimiento.
- Lineamientos a seguir cuando se planea construir un sistema de tratamiento por etapas.
- Muestra para medición de caudal efluente (punto de toma de muestra y equipo de medición).

De acuerdo con el reglamento de Aprobación y Operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales son obligaciones del ente generador las siguientes tareas:

Contar en todo momento con el personal y equipo requerido.
Operar y mantener el sistema en apego al manual de operación y mantenimiento.
Mantener un efluente con concentraciones de contaminantes dentro de los límites autorizados.
Realizar los muestreos y análisis de laboratorio con la frecuencia requerida y de reportarlos al Ministerio de Salud o a la entidad administradora del alcantarillado sanitario.

Solicitar el permiso al Ministerio de Salud y a la entidad administradora del alcantarillado sanitario, antes de remodelar o modificar en alguna forma el sistema de tratamiento.

Vigilar que se siga el Manual de Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

Notificar inmediatamente al Ministerio de Salud o a la entidad administradora del alcantarillado sanitario, cualquier anomalía operacional, violación a los límites autorizados, derrames u otros accidentes, detallando los hechos y el plan de contingencia adoptado.

Llevar una bitácora donde se anoten todos los detalles de la Operación y Mantenimiento de la Planta de Tratamiento.

Cumplir con el Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales.

Figura 62. Aspectos de interés.

Reglamento de Aprobación y Operación de sistemas de tratamiento de aguas residuales, 2003

5.5.2 Reglamento del Canon ambiental por vertidos (34431- MINAE-S)

Este reglamento tiene como objetivo regular el canon ambiental por uso del recurso hídrico, como medio para verter sustancias contaminantes, conocido como Canon ambiental por vertidos, que será para efectos prácticos un pago o contraprestación en dinero que debe realizar todo ente generador que utilice un cuerpo de agua para introducir, transportar o eliminar vertidos, que puedan afectar características físicas, químicas o biológicas del agua y provoquen efectos nocivos sobre el recurso hídrico, los ecosistemas relacionados, la salud humana, y las actividades productivas.

Según el *artículo 4*, de este reglamento, el Canon ambiental por vertidos es un instrumento económico de regulación ambiental que se fundamenta en el principio de “quien contamina paga” y que pretende el objetivo social de alcanzar un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, de conformidad con lo establecido en el artículo 50 de la Constitución Política, a través del cobro de una contraprestación en dinero, a quienes usen el servicio ambiental de los cuerpos de agua, bien de dominio público, para el transporte y eliminación de residuos líquidos originados en el vertimiento puntual, los cuales pueden generar efectos nocivos sobre el recurso hídrico, los ecosistemas relacionados, la salud humana y las actividades productivas.

De acuerdo con este reglamento, deben realizar el pago por canon ambiental por vertidos, aquellos entes que efectúen las siguientes acciones (*artículo 6*):

1. Vertimiento puntual.
2. Vertimiento a cuerpo receptor.

3. Que la carga contaminante neta vertida, en relación a los parámetros que se incluyen dentro del canon, tenga valores positivos.

Los parámetros a tomar en cuenta para el cobro del canon son los Sólidos suspendidos totales (SST) y la Demanda química de oxígeno soluble (DQO_{soluble}).

Los fondos recaudados, según el *artículo 9*, serán destinados a las siguientes áreas:

- ◆ Apoyar el financiamiento a inversiones de proyectos de alcantarillado sanitario y tratamiento de aguas residuales domésticas. (60 %)
- ◆ Promoción de la producción más limpia en fuentes. (15%)
- ◆ Monitoreo de las fuentes emisoras. (10%)
- ◆ Gasto de administración del canon. (10%)
- ◆ Educación ambiental de la población y demás usuarios del agua. (5%)

Nota: Queda prohibido destinar estos fondos a fines distintos de los establecidos en este artículo.

El Ministerio del Ambiente y Energía será el ente competente para la administración, aplicación, cálculo y cobro del canon ambiental por vertidos. (*Artículo 11*)

Otras funciones de este son el otorgamiento de los permisos de vertido, realizar el cálculo del monto a pagar por los entes generadores, la facturación y el cobro, y velar por la correcta recaudación y destino de los fondos.

El permiso de vertido es un documento emitido por el MINAE y será requisito indispensable para tramitar el permiso de ubicación del sistema de tratamiento de aguas residuales y para contar con el permiso sanitario de funcionamiento.

Para realizar la solicitud del permiso de vertido se debe llenar y presentar el Formulario de Solicitud de Permiso de Vertidos, que tiene carácter de declaración jurada. Además, se deben adjuntar los siguientes documentos:

- ◆ En caso de *entes generadores que aún no se encuentren en operación*: adjuntar carta de compromiso de cumplimiento de lo dispuesto en el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales.
- ◆ En caso de *entes generadores en funcionamiento y que no cuenten con permiso sanitario de funcionamiento*:
 1. Adjuntar copia del análisis de la calidad de las aguas residuales vertidas, emitido por un laboratorio habilitado.
 2. Debe incluir los parámetros solicitados en el Reglamento que regula el vertido y reuso de aguas residuales y la DQO_{soluble} . Además, debe contar con menos de tres meses de realizada la toma de muestras para el análisis.
- ◆ En caso de *entes generadores en funcionamiento y con permiso sanitario de funcionamiento*:
 1. Adjuntar la certificación de la calidad del agua emitida por el Ministerio de Salud.
- ◆ Para efectos de evaluación de las metas de reducción, facturación y cobro, los entes generadores quedan obligados a actualizar la información sobre sus vertidos. Para tales fines, deberán presentar el Formulario de Actualización de Declaración de Vertidos, con una frecuencia mínima de una vez al año.

Todas las personas que viertan sin el permiso de vertidos, serán sujetas de los procedimientos y sanciones administrativas, civiles y penales establecidas en la legislación vigente, sin que eso las exima del pago del canon correspondiente (*Artículo 15*), a excepción de los siguientes casos, que se encuentran exonerados de la solicitud de permiso de vertido:

1. Descargadas en un alcantarillado sanitario.
2. Reusadas según lo establecido en el Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales.
3. Descargadas a un tanque séptico.
4. Entregadas a un tercero para su tratamiento y vertimiento final.

El permiso de vertido tiene una vigencia de tres años y puede ser revocado si se presentan las siguientes condiciones:

- a. Se compruebe falsedad de los datos brindados por el ente generador.
- b. La falta de pago del canon ambiental por vertido en dos trimestres consecutivos.
- c. La no actualización de la declaración de vertidos en dos períodos consecutivos.
- d. Cuando el ente generador deje de operar, ya sea por decisión del mismo u orden de autoridad competente.

Los tramites de solicitud de permiso de vertido, actualización de declaración de vertidos y exoneración de la solicitud de permiso de vertidos, se realizan en el MINAE y serán resueltos en un plazo máximo de 2 meses.

5.5.3 Reglamento de Vertido y reuso de aguas residuales (33601-MINAE-S)

El reglamento de Vertido y reuso de aguas residuales, tiene como objetivo la protección de la salud pública y del ambiente, a través de una gestión ambientalmente adecuada de las aguas residuales.

De acuerdo con el *Artículo 14*, son parámetros de análisis obligatorio en aguas residuales de tipo ordinario, los que citan a continuación:

- ♦ Caudal
- ♦ Demanda bioquímica de oxígeno ($DBO_{5,20}$).
- ♦ Demanda química de oxígeno (DQO).
- ♦ Potencial de hidrógeno (pH).
- ♦ Grasas y aceites (GyA).
- ♦ Sólidos sedimentables (SSed).
- ♦ Sólidos suspendidos totales (SST).
- ♦ Sustancias activas al azul de metileno (SAAM).
- ♦ Temperatura (T).

Los valores máximos permisibles permitidos, según el presente reglamento, para estos parámetros se indican en el cuadro 7, pero hay que tomar en cuenta que varían según el medio receptor del vertido.

Cuadro 7. Valores máximos permisibles para parámetros de análisis obligatorio.
(Reglamento de Vertido y reuso de aguas residuales, Tabla 2 y Tabla 4, 2007)

Parámetro	Limite	
	Alcantarillado Sanitario	Cuerpo Receptor
DBO _{5,20}	300 mg/l	50 mg/l
DQO	750 mg/l	150 mg/l
Sólidos Suspendidos	300 mg/l	50 mg/l
Grasas y aceites	50 mg/l	30 mg/l
Potencial de Hidrógeno (pH)	6 a 9	5 a 9
Temperatura	15°C ≤ T ≤ 40°C	15°C ≤ T ≤ 40°C
Sólidos sedimentables	5 ml/l	1 ml/l
Sustancias activas del azul de metileno	5 mg/l	5 mg/l

El muestreo de los parámetros de análisis obligatorios se dividirá en dos grupos:

- Los muestreos, mediciones y análisis rutinarios pueden ser practicados por personal capacitado del ente generador o de un laboratorio habilitado.
- Los muestreos, mediciones y análisis periódicos deben ser practicados por un laboratorio habilitado (debe contar con permiso de funcionamiento y estar acreditado).
- Las mediciones rutinarias y la toma de muestras periódicas se realizarán en el efluente.

En el caso de aguas residuales de tipo ordinario, la frecuencia de las mediciones rutinarias y periódicas se determina por el caudal de agua tratada; en el cuadro 8 se indican estas frecuencias y los parámetros de medición de cada categoría.

Cuadro 8. Frecuencias de mediciones rutinarias y periódicas.
(Reglamento de Vertido y reuso de aguas residuales, Tabla 9, 2007)

Parámetro	Caudal	
	≤ 100	> 100
Mediciones Rutinarias	Mensual	Semanal
Caudal		
pH		
Sólidos sedimentables		
Temperatura		
Mediciones Periódicas	Semestral	Trimestral
Caudal		
pH		
Sólidos sedimentables		
Temperatura		
DBO _{5,20}		
DQO		
Sólidos Suspendidos		
Grasas y aceites		
Sustancias activas del azul de metileno		
Coliformes Fecales		

En toda planta de tratamiento de aguas residuales debe existir un expediente foliado que se utilizará como una bitácora de manejo de aguas residuales, donde diariamente o cuando corresponda se registrará (*Artículo 41*):

- ◆ Todos los detalles de operación y mantenimiento.
- ◆ Los resultados de las mediciones rutinarias.
- ◆ La toma de muestra y resultados de los análisis periódicos.
- ◆ La toma de acciones correctivas de accidentes y situaciones anómalas que ocurran.
- ◆ Las observaciones de las visitas de inspección de los entes legalmente facultados.
- ◆ Las modificaciones realizadas a los equipos y procesos del sistema de tratamiento.
- ◆ La documentación del manejo y destino de los lodos.

Toda anotación hecha en esta bitácora deberá ser firmada por quien la origine, anotando claramente su nombre. La bitácora deberá estar a la disposición de los entes legalmente facultados que la soliciten.

Además de la implementación de la bitácora, se deben generar reportes operacionales que serán entregados al Ministerio de Salud, para el caso de plantas de tratamiento que traten caudales mayores a 100 metros cúbicos diarios, la frecuencia de presentación del reporte es trimestral, si el caudal tratado es menor 100 metros cúbicos por día, se deben presentar semestralmente, la información mínima del ente generador que se debe incluir en el reporte es la siguiente:

1. Datos generales.
2. Disposición de las aguas residuales.
3. Medición de caudales.
4. Resultados de las mediciones de parámetros por parte del ente generador.
5. Resultados de los análisis físico-químicos y microbiológicos.
6. Evaluación de las unidades de tratamiento.
7. Plan de acciones correctivas.
8. Registro de producción.
9. Nombre y firma del responsable técnico y del propietario o representante legal.

En los casos donde el reporte operacional evidencie un 100 % de cumplimiento, la Dirección de Protección Ambiente Humano (DPAH) del Ministerio de Salud, procederá a emitir de oficio la certificación de la calidad del agua una vez por año (Certificado de calidad del agua). Además, la DPAH podrá realizar cuando lo considere conveniente al menos uno de los muestreos y análisis obligatorios anuales correspondientes a un ente generador como parte de un proceso de control cruzado. (*Artículo 58*)

Según los *Artículos 61, 62, 63, 64, 65 y 66*, son prohibidas las siguientes acciones:

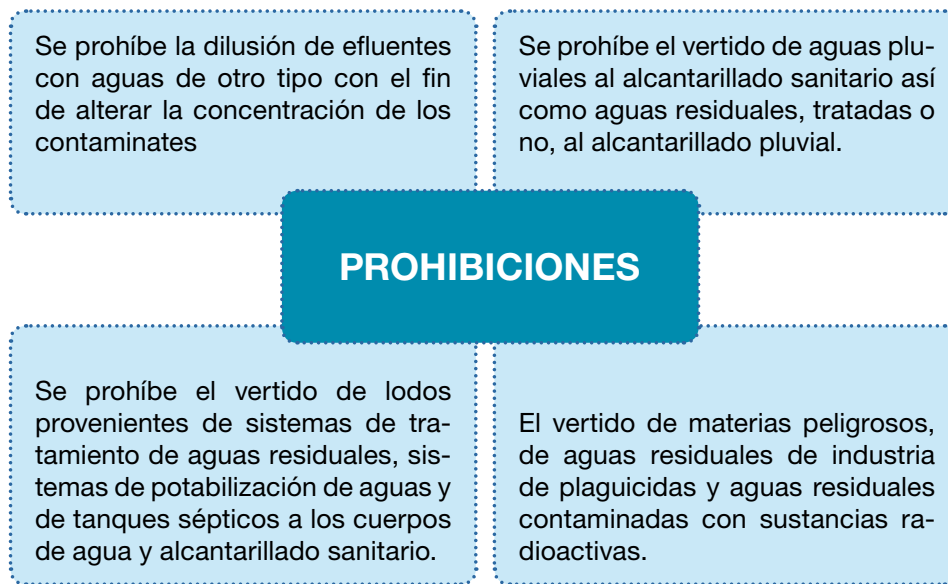


Figura 63. Prohibiciones Reglamento de Vertido y Reuso de Aguas Residuales.

Además se determinarán sanciones en los casos donde no se cumpla con el límite máximo permisible de un parámetro de control o por incumplimiento en la presentación de reportes operacionales.

5.5.4 Reglamento para el Manejo y disposición final de lodos y biosólidos (N°39316-S)

El presente reglamento es aplicación obligatoria en todo el territorio nacional, en todo lo relacionado con el manejo y disposición final de lodos y biosólidos ordinarios y especiales producto de sistemas individuales y colectivos de tratamiento de aguas residuales.

En el caso de lodos y biosólidos ordinarios, residuos de interés en la presente guía, el reglamento establece las siguientes definiciones:

- ♦ *Lodos ordinarios:* comprende los lodos sanitarios y los sépticos.
- ♦ *Lodos sanitarios:* lodos generados en una planta de tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario.
- ♦ *Lodos sépticos:* lodos generados en los tanques sépticos.
- ♦ *Biosólidos:* lodos que han sido sometidos a procesos de tratamiento y que por su contenido de materia orgánica, nutrientes y características adquiridas después del tratamiento puedan ser aprovechados.
- ♦ *Biosólidos ordinarios:* lodos ordinarios tratados.
- ♦ *Biosólidos sanitarios:* lodos sanitarios tratados.
- ♦ *Biosólidos sépticos:* lodos sépticos tratados.
- ♦ *Proveedor del servicio:* Persona física o jurídica responsable de brindar al menos una de las etapas del manejo y la disposición final de lodos, se refiere a la recolección, el transporte, el tratamiento y la disposición final.

De acuerdo con el *artículo 6* del Reglamento de manejo y disposición final de lodos y biosólidos, todo proveedor del servicio deberá contratar los servicios de laboratorios con permiso sanitario de funcionamiento para realizar los análisis fisicoquímicos y bacteriológicos requeridos por este reglamento, conforme a su disposición final en el caso de los biosólidos ordinarios y especiales es responsabilidad del laboratorio contratado tomar las muestras correspondientes.

Los parámetros de análisis obligatorio se enlistan en el siguiente cuadro:

Cuadro 9. Parámetros de análisis obligatorio de los biosólidos ordinarios para su disposición final en rellenos sanitarios y suelos con sus respectivos límites máximos permisibles (Reglamento para el manejo y disposición final de lodos y biosólidos, 2015)

	Relleno sanitario	Límite máximo permisible	Disposición en suelos	Límite máximo permisible	
				¹ Tipo A	² Tipo B
Biosólidos Ordinarios	Porcentaje de humedad	75	Porcentaje de humedad	75	75
	pH	5-12	Coliformes fecales	2000	2x10 ⁶
			Nematodos intestinales	1	10
			pH	5-12	5-12

Notas:

1. **Tipo A:** Biosólidos dispuestos en terrenos donde puede existir contacto directo con el público.
2. **Tipo B:** Biosólidos dispuestos en terrenos donde no debe existir un contacto directo con el público. En terrenos de uso agrícola, la disposición debe cesar dos semanas antes de la cosecha. Debe evitarse el pastoreo de ganado durante los quince días siguientes a la finalización de la disposición.

La frecuencia requerida de análisis obligatorios se determinada de acuerdo al volumen de lodos o biosólidos producidos por año y adicionalmente se debe generar un reporte que contemple los siguientes aspectos:

- a. Volumen total de lodos tratados en el periodo reportado.
- b. Tipo de lodo sea ordinario o especial.
- c. Cantidad de biosólido producido.
- d. Resultados de análisis de laboratorio.
- e. Disposición final.
- f. Tipo de biosólido en caso de utilizarse para disposición en suelos.

Cuadro 10. Frecuencias de reporte, muestreo y análisis para biosólidos (Reglamento para el manejo y disposición final de lodos y biosólidos, 2015)

Generación de biosólidos en base seca (ton/año)	Frecuencias
≤ 1500 (menor o igual 1500 toneladas por año)	Semestral
> 1500 (más de 1500 toneladas al año)	Trimestral

Por último es importante conocer la siguiente información, en los casos que se contrate el servicio de recolección y tratamiento de lodos:

- ◆ Permiso de funcionamiento de la empresa prestadora del servicio de tratamiento de lodos.
- ◆ Plazo de vigencia del permiso y tipo de actividad autorizada.
- ◆ Volumen estimado y tipo de lodos recolectados.
- ◆ Plazo de vigencia y finalización del contrato.

Además se debe asegurar que los vehículos utilizados para el transporte cumplan los siguientes requerimientos:

- ◆ La cisterna del vehículo debe ser hermética, con el objeto de evitar fugas y derrames.
- ◆ Los accesorios, las válvulas, las tapas, las mangueras, los tapones, el equipo de bombeo y otros, deberán ser de materiales resistentes, apropiados para la actividad y deberán mantenerse en buen estado.
- ◆ Los proveedores del servicio de recolección y transporte deberán efectuar el lavado de los vehículos dentro de las instalaciones del proveedor del servicio de tratamiento de lodos. Las aguas producto del lavado deberán ser dispuestas cumpliendo con lo establecido en el Decreto Ejecutivo N° 33601 del 9 de agosto de 2006 “Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales”.
- ◆ Los vehículos recolectores deberán contar con instalaciones físicas en un plantel o área que permitan su estacionamiento y almacenamiento temporal de los lodos a fin de evitar problemas sanitarios a la población y de tránsito vehicular.

5.6 Normas

Las normas constituyen la base de la pirámide del ordenamiento jurídico establecido en Costa Rica, algunos ejemplos se detallan a continuación.

5.6.1 Reglamentación técnica para diseño y construcción de urbanizaciones condominios y fraccionamientos (N° 2006-730), Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

Este reglamento es estrictamente normativo, procura presentar a los proyectistas de obras de agua potable y alcantarillados sanitario y pluvial, el marco técnico que aplica AyA para revisar y aprobar los proyectos; por lo tanto, no es una guía para diseño o para los procesos constructivos, ni para las actividades de operación, mantenimiento y control.

De acuerdo al tema que se desarrolla en la presente guía son de interés, los siguientes apartados:

Alcantarillado sanitario

El alcantarillado sanitario deberá ser un sistema separado y recolectará únicamente las aguas residuales ordinarias, considerando los aportes por infiltración de agua de lluvia y las aguas residuales especiales que cumplan con los límites máximos permisibles, establecidos en el Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales (Decreto Ejecutivo N° 33601-S-MINAE).

El alcantarillado sanitario debe concebirse de tal manera que el colector final converja en un punto único, orientado lo más cerca posible hacia un colector o subcolector existente o futuro de acuerdo con la planificación establecida en los planes maestros de la empresa o institución operadora.

Se deberán presentar los cálculos del alcantarillado sanitario, cuando la población del sistema sea mayor a 540 personas, si la población es menor, el diámetro mínimo será 150mm y la pendiente mínima, será 0,6%.

Las tuberías de alcantarillado sanitario se ubicarán en la línea de centro de las calles y avenidas y se colocarán por debajo de la tubería de agua potable.

En relación a términos de diseño que se revisaran por parte del AyA, este reglamento incluye los siguientes elementos:

- ◆ Cálculo hidráulico
- ◆ Velocidades
- ◆ Tirante hidráulico máximo
- ◆ Forma de la sección de los conductos
- ◆ Continuidad de tuberías
- ◆ Estructuras de paso y protección
- ◆ Profundidad
- ◆ Prevista
- ◆ Resistencia de la tubería a cargas externas.
- ◆ Pozos de registro: deberán construirse pozos de registro en todo inicio o intersección de tuberías así como en los cambios de dirección, diámetro, pendiente, material de la tubería y en los tramos rectos, de tal forma que la distancia entre dos pozos de registro consecutivos no exceda 80 metros. La profundidad máxima de los pozos de registro será de 4 metros y el diámetro interno mínimo deberá ser de 1,20 metros. Los pozos de registro serán de concreto reforzado o polietileno de alta densidad y deben contar con una tapa de inspección.
- ◆ Canal de fondo de los pozos de registro: se diseñará el canal de fondo de los pozos de registro con las secciones necesarias para la adecuada conducción de las aguas. El canal de fondo tendrá una longitud mínima de 0,90 m en línea recta y en el sentido del flujo y del mismo diámetro que del tubo de salida del pozo.
- ◆ Diámetro nominal mínimo: el diámetro nominal mínimo de la red de alcantarillado sanitario, deberá ser de 150 mm.
- ◆ Caudales de diseño
 - a. Aguas residuales ordinarias (Q_{paro})
Se calculará aplicando la siguiente fórmula: $Q_{\text{paro}} = FR * Q_{\text{pap}}$

Donde:

Q_{paro} : Caudal promedio de agua residual ordinaria

FR: Factor de retorno (0.80)

Q_{pap} : Caudal promedio diario neto de agua potable

- b. Aguas residuales especiales o caudal promedio de agua residual especial (Q_{pare})

Se evaluará para cada caso particular según la actividad.

- c. Contribuciones externas (Q_{ext})

Se considerarán las contribuciones de redes de alcantarillado sanitario adyacentes o futuras, indicadas por AyA en la carta de disponibilidad.

- d. Aguas de infiltración (Q_{inf})

Para determinar el caudal de infiltración se deberá utilizar la siguiente tabla:

Cuadro 11. Caudal de infiltración según material de tubería.

(Reglamentación técnica para diseño y construcción de urbanizaciones condominios y fraccionamientos (N° 2006-730), Instituto Costarricense de Adecueductos y Alcantarillados, 2007)

Material	Caudal de infiltración (l/s/km)
Cloruro de polivinilo (PVC)	0.25
Polietileno de alta densidad	0.25

Entonces:

1. El caudal promedio de aguas residuales (Q_{par}), será la suma de todas las contribuciones, a saber:

$$Q_{\text{par}} = Q_{\text{paro}} + Q_{\text{pare}} + Q_{\text{ext}}$$

- El caudal mínimo de diseño (Q_{min}) será: $Q_{\text{min}} = \text{FMH} * Q_{\text{par}} + Q_{\text{inf}}$

El caudal mínimo no podrá ser inferior a 1.5 l/s.

- El caudal máximo será: $Q_{\text{max}} = Q_{\text{par}} * \text{FMH} * \text{FMD} + Q_{\text{inf}}$

Donde:

Q_{par} : Caudal promedio de aguas residuales

FMH: Factor máximo horario.

FMD: Factor máximo diario

Q_{inf} : Caudal de infiltración

Alcantarillado pluvial

Como se recordará el alcantarillado pluvial es una red pública de tuberías que se utilizan para recolectar y transportar las aguas de lluvia hasta su punto de vertido.

Las tuberías de alcantarillado pluvial se ubicarán por los costados sur y este de las avenidas y calles respectivamente, en la línea centro entre las líneas de alcantarillado sanitario y cordón de caño y se colocarán por debajo del alcantarillado sanitario.

Al igual que para un alcantarillado sanitario, serán evaluados los siguientes puntos:

- ◆ Cálculo hidráulico
- ◆ Velocidades
- ◆ Sección del alcantarillado pluvial.
- ◆ Tirante hidráulico máximo.
- ◆ Continuidad de tuberías.
- ◆ Estructuras de paso y protección.
- ◆ Profundidad
- ◆ Pozos de registro: deberán construirse pozos de registro en todo inicio e intersección de tuberías, así como en los cambios de dirección, diámetro, pendiente, material de la tubería y en los tramos rectos, de tal forma, que la distancia en línea recta entre dos pozos de registro no exceda 120 metros. Los pozos de registro serán de concreto y deben contar una tapa de inspección cuyo material deberá ser de hierro fundido.
- ◆ Diámetro nominal mínimo.
- ◆ Tragantes: se proyectarán tragantes de tal manera que la longitud total de caño entre tragantes no sea mayor de 120 metros. En las esquinas se construirán dos tragantes, para evitar inundaciones. La profundidad mínima del fondo del tragante respecto de la rasante será de 0,90 metros. Los tragantes serán de concreto reforzado y contarán con dos bocas de inspección con sus respectivas rejillas de material de hierro fundido y angulares en acero.
- ◆ Pozos y tragantes: en las vías en las que se invierte el bombeo para que funcione la calzada como cuneta, se eliminarán los tragantes, colocando en el centro de estas, pozos que servirán de tragante (pozos tragantes).
- ◆ Cordón y caño: en la intersección de vías terciarias o alamedas peatonales con vías principales, se permitirá continuar el caño sin construir tragantes, siempre que las longitudes de recorrido del agua por el caño no excedan lo indicado anteriormente.
- ◆ Canales abiertos: se podrá diseñar sistemas de evacuación pluvial utilizando canales abiertos en aquellos casos en donde el alcantarillado pluvial con tubería no pueda descargar en un cuerpo receptor con el mínimo de gradiente. El diseño de canales abiertos se regirá por los conceptos de la hidráulica de canales abierto.
- ◆ Estimación del caudal de diseño.

Se calculará, preferiblemente, por medio de la fórmula racional:

$$Q = C * I * A / 360$$

Donde:

Q: Caudal de escorrentía (m³/s)

I: Intensidad de la lluvia de diseño (mm/hora)

A: Área a drenar (hectáreas)

C: Coeficiente de escorrentía (adimensional)

*Intensidad de la lluvia: la intensidad de la lluvia es función del periodo de retorno de la tormenta de diseño y del tiempo de concentración.

Planta de tratamiento de aguas residuales

Para el diseño de los sistemas de tratamiento de aguas residuales se deberá seguir lo indicado en el Decreto Ejecutivo 33601-S-MINAE, Reglamento de vertido y reuso de aguas residuales y en el Decreto Ejecutivo 39887-S-MINAE, Reglamento de aprobación de sistemas de tratamiento de aguas residuales.

En relación con las normas de construcción, el reglamento indica que se deben seguir las mejores prácticas de ingeniería, de acuerdo con los diseños y planos constructivos aprobados por el AyA y con la reglamentación técnica vigente.

En los anexos se incluirá el documento completo, donde se encontrará información de materiales, los tipos de tuberías y la información completa de diseño y construcción evaluada por el AyA.

5.6.2 Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones

De acuerdo con el Artículo 1.1 el Código de instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificaciones tiene como objetivo establecer requerimientos técnicos mínimos que deben regir el diseño, la construcción, la reparación y la reforma de las instalaciones sanitarias e hidráulicas de las edificaciones destinadas para uso, ocupación o habitación humana.

En cuanto al tema que nos compete, el capítulo 8 indica las pautas a seguir para instalaciones dedicadas al saneamiento, abordando aspectos como:

- ◆ Materiales para tuberías de desagües, los tubos de ventilación, las uniones y las conexiones. “Artículo 7.9 En los conductos de desagüe para aguas servidas, residuales, e industriales, deberán utilizarse tuberías de sección circular de hierro fundido, de cloruro de polivinilo (PVC), de alcarraza, o de concreto...”
- ◆ Normas de cálculo.
- ◆ Sifones, desagües indirectos e interceptores y separadores (trampas de grasa, interceptores de sólidos y objetos flotantes).
“Artículo 7.34. Toda pieza sanitaria deberá ser dotada de un sifón o trampa cuyo sello de agua tendrá una altura no inferior a 4 cm ni mayor de 10 cm, excepto en aquellos casos en que se especifique la altura del sello a usar, o que por su diseño especial requiera una altura de agua no contemplada dentro del rango establecido en este artículo.”
“Artículo 7.60. Cuando las aguas negras o servidas contengan grasas, aceites, materiales inflamables, arena, tierra y otros sólidos o líquidos objetables que pudieran afectar el buen funcionamiento de las cloacas del edificio o de los colectores públicos, será necesaria la instalación de interceptores o separadores.”
- ◆ Ventilación sanitaria (bajantes, alivios, sifones)
Artículo 7.69. El sistema de desagüe de aguas negras de toda edificación debe estar provisto con un sistema auxiliar de tuberías de ventilación, diseñado de tal manera que permita que circulen hacia arriba los gases y olores de todas las partes de la tubería de desagüe y que escapen a la atmósfera por encima de la edificación...”
- ◆ Equipo de bombeo para aguas residuales ordinarias.
“Artículo 7.109. Las bombas de aguas negras deberán cumplir con los siguientes requisitos:
a. Ser de diseño especial tal que al funcionar garanticen protección adecuada contra obstrucciones. Es recomendable que los impulsores sean abiertos.

- b. Su capacidad deberá ser por lo menos de dos veces el gasto máximo que recibe el pozo de bombeo.
 - c. Las tuberías estarán dotadas de válvulas de compuerta para remover o instalar los equipos, y de válvulas de retención para evitar el flujo inverso.
 - d. Los equipos de bombeo se fijarán adecuadamente por medio de placas, pernos y amortiguadores para prevenir la transmisión de vibraciones y para su fácil remoción.
 - e. Para determinar el tiempo y la frecuencia de operación de la bomba se deberán considerar las características del motor de la misma. Como norma general, se recomienda que el tiempo de operación de la bomba no sea menor de dos minutos y la frecuencia de operación de la misma sea menor que cinco veces por hora...”
- ◆ Sistemas individuales para el tratamiento y disposición de aguas residuales ordinarias (aguas negras).

“Artículo 7.115. Cuando se utilicen sistemas de tratamiento con tanques sépticos o pozos filtrantes, será obligatorio que todas las aguas residuales, negras y jabonosas, sean depositadas en el tanque o pozo. No se permite la evacuación de ningún tipo de agua residual hacia los sistemas de drenaje de aguas de lluvia o hacia el cordón del caño.”

“Artículo 7.133. Los tanques sépticos deben localizarse donde no puedan provocar contaminación de algún pozo, manantial, u otra fuente de abastecimiento de agua...”

5.6.3 Procedimiento para la recepción de un sistema de saneamiento administrado por una ASADA

Los interesados que quieran optar por traspasar la administración, la operación y el mantenimiento de un sistema de saneamiento a una Asociación Administradora de Sistemas de Acueductos y Alcantarillados Comunes (ASADA), deberán cumplir con lo dispuesto en el Reglamento de sistemas de saneamiento y su recepción por parte de Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados.

El interesado deberá dirigir su petición de entrega del sistema a la Subgerencia de gestión de sistemas comunales, quien será el área responsable del proceso de recepción del sistema, en coordinación con otras dependencias de AyA, debiendo comunicar de dicha petición a la ASADA, así como a la gerencia general del Instituto.

Una vez que se dé la aprobación de la recepción, será indispensable la autorización por parte de la Autoridad Reguladora de los Servicios Públicos (ARESEP) de una tarifa diferenciada, la cual será pagada por los usuarios que sean parte del sistema que sea asumido. Los fondos recaudados en los sistemas delegados por este concepto deben ser administrados en una cuenta independiente y destinados exclusivamente a la administración, operación y mantenimiento del sistema de saneamiento asumido.

5.7 Conclusiones

Como se puede apreciar, se cuenta con una vasta reglamentación jurídica en el ámbito del saneamiento y queda en las manos de los ciudadanos su instrucción y cumplimiento. Recordemos que estos instrumentos jurídicos procuran garantizar el derecho a un ambiente sano y ecológicamente equilibrado para todos los habitantes como lo indica el artículo 50 de la Constitución Política.

Referencias

- AGUA: sistema de riesgos, (s.f.). *Tratamiento completo tanque y campo*. Extraído de: <http://serviciosdeagua.blogspot.com/>
- Aguas residuales (2010). *Fosas sépticas*. Recuperado de: <http://werabereaguasresiduales.blogspot.com/>
- Ameijenda, C. (2002). *Manual de buenas prácticas en la ejecución, operación y mantenimiento de los sistemas de saneamiento de las viviendas rurales*. Recuperado de <http://www.aquaplann.eu/fileadmin/>
- Angulo, F. y Astorga, Y. (2015). Vigésimo informe estado de la nación: *Gestión del recurso hídrico y saneamiento*. Recuperado de <http://estadonacion.or.cr/estado-nacion/investigaciones-de-base/por-tema/ambientales>
- Angulo, F. (2014). Decimonoveno informe estado de la nación: *Manejo, disposición y desecho de aguas residuales en Costa Rica*. Recuperado de <http://estadonacion.or.cr/estado-nacion/investigaciones-de-base/por-tema/ambientales>
- Apoyar al plan de contingencia temporada seca fenómeno “el niño” para el ahorro y uso eficiente del recurso hídrico para el municipio de Tarquí en el año, (2015). *Residuos grasas y aceites*. Recuperado de: <http://www.aguasdelaHuila.gov.co/web/index.php/pda/capacitacion-pda/458-apoyar-al-plan-de-contingencia-temporada-seca-fenomeno-el-nino-para-el-ahorro-y-uso-eficiente-del-recurso-hidrico-para-el-municipio-de-tarqui-en-el-ano-2015>
- Aragón, C., Ferrer, Y., Ortega de Miguel, E., Real, A. y Salas, J. (2010). *Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*. Recuperado de <http://www.aguasresiduales.info/revista/libros/manual-para-la-implantacion-de-sistemas-de-depuracion-en-pequenas-poblaciones>
- Bioprocess H₂O (Ed). (2015). *BioFAS™ Integrated Fixed Film Activated Sludge (IFAS)*. Recuperado de <http://www.bioprocessh2o.com/engineered-products/biofas-ifas>
- Bioreactor de membranas, (s.f.). Recuperado de: http://www.yacutec.com/tecnologias-depuracion/tecnologias-depuracion_biorreactor-de-membrana.asp
- CAMIX Technology: *Sequencing Batch Reaction Technology (SBR)*, (2015). Recuperado de <http://camix.com.vn>
- Características del agua residual, (s.f.). *Sólidos sedimentables*. Recuperado de: http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/CURSO/UNI_02/u2c2s5.htm
- CENTA. (Ed). (2007). *Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales*. Recuperado de http://www.juntadeandalucia.es/medioambiente/web/Bloques_Tematicos/agencia_andaluz_aqua/ciclo_integral_del_agua_urbana/depuracion/capitulo_uno_centa.pdf
- Comisión Nacional del Agua, (2007). *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*. Recuperado de: www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/
- Cómo calcular el tamaño del tanque séptico, (s.f.). Extraído de: http://www.ehowenespanol.com/calcular-tamano-del-tanque-septico-como_139571/

- Cómo cuidar un sistema séptico, (s.f.) *Etapas y partes tanque séptico*. Extraído de: <http://es.wikihow.com/cuidar-un-sistema-s%C3%A9ptico>
- Confederación Hidrográfica del Duero. (Ed). (2013). *Guía práctica para la depuración de aguas residuales en pequeñas poblaciones*. Recuperado de <http://www.chduero.es/>
- Crites, R. & Tchobanoglous, G. (2000). *Tratamiento de Aguas Residuales en Pequeñas Poblaciones*. Colombia. *Mc Graw-Hill*.
- Definición de Fotosíntesis*, (2007). *Fotosíntesis*. Recuperado de: <http://www.definicionabc.com/ciencia/fotosintesis.php>
- Degradación de los materiales, (2011). *Residuos orgánicos y residuos inorgánicos*. Recuperado de: <http://es.slideshare.net/portafoliodeprofes/degradacindelosmateriales>
- Depuración de Agua Residuales (TTD), (s.f.). Recuperado de <http://www.ttdspain.com/systemedetraitemen-tparbouesactivees.html>
- Depuración de aguas residuales en poblaciones, (s.f.). Extraído de: <http://www.azud.com>
- Depuragua: Plantas de Tratamiento de Aguas residuales. (s.f.). Recuperado en imágenes <http://depuragua.co.cr/>
- Depuradoras de agua, 2011. Tamices rotativos. Recuperado de: <http://www.depuradorasdeaguas.es/Tamices-rotativos>
- División Desarrollo Regional Departamento de Gestión de Inversiones Programa PIRDT. (Ed). (2009). *Manual de Soluciones de Saneamiento Sanitario para Zonas Rurales*. Recuperado de <http://www.subdere.gov.cl/sites/default/files/documentos/manual.pdf>
- El ciclo del agua urbano (2014). Recuperado de: <http://pt.slideshare.net/eeigloriafuertes/el-ciclo-del-agua-urbano>
- El pH en nuestra vida, (2010). *EDUCANDO el Portal de la Educación Dominicana*. Recuperado de <http://www.educando.edu.do/articulos/estudiante/el-ph-en-nuestra-vida>
- El pH, (2013). Recuperado de: <http://es.slideshare.net/adrianaliberato925/el-ph-21349303>
- Escorrentía y Nivel Freático*, (s.f.). Climántica. Recuperado de <http://es.contenidos.climantica.org/unidades/3/a-auga-en-movimiento/evapotranspiracion-e-escorrentia/escorrentia-e-nivel-freatico>
- Fichas Técnicas Manual Técnico del Agua Degrémont. *Cultivos Fluidizados*. (N° 5). (2012). Recuperado de <http://www.wdegremont.com>
- Fosas sépticas: Más que una solución, un problema medio ambiental en la llamada zona hotelera de Tulúm, 2010. Extraído de: http://www.ecoportel.net/Temas-Especiales/Contaminacion/fosas_septicas_mas_que_una_solucion_un_problema_medio_ambiental_en_la_llamada_zona_hotelera_de_tul
- García, N. Infografías de Alianza por el Agua: *Tecnologías Naturales de Depuración*. Recuperado de <http://www.alianzaporelagua.org/> (Introducción)
- Hirschfeld, D. (Ed). (2012). CARE Internacional-Avina. Programa Unificado de Fortalecimiento de Capacidades *Módulo 6: Sistemas de Saneamiento ambiental*. Recuperado de <http://www.avina.net/>
- Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INAA), (s.f.). *Guías técnicas para el diseño de alcantarillado sanitario y sistemas de tratamiento de aguas residuales*. Recuperado de <http://www.inaa.gob.ni/.../guias-tecnicas/>
- Jenkins, A. and Sanders, D. (2012). *Introduction to Fixed-Film Bio-Reactors for Decentralized Wastewater Treatment*. Recuperado de <http://www.conteches.com/.../Document-Management>.
- León, R. (2010). Pretratamiento para la purificación de aguas residuales. Costa Rica. Instituto Nacional de Aprendizaje, INA.

- Marín, A. y Osés, M. (2013). *Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales con el proceso de Lodos Activados*. Recuperado de http://www.ceajalisco.gob.mx/publicaciones/pdf/plantas_tratam_tomo2.pdf
- Medidor de temperatura, (2015). Recuperado de: <http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-temperatura/termometro-pce-hpt1.htm>
- Metcalf y Eddy, INC. (1996). *Ingeniería de Aguas Residuales Tratamiento, Vertido y Reutilización*. México. *Mc Graw-Hill*.
- Micras o micrones, (2015). Micra. Recuperado de: <http://www.carbotecnia.info/encyclopedia/micras-o-micrajcs/>
- Microbiología, (s.f.). En slideshare.net. Recuperado de http://www.microbeworld.org/html/aboutmicro/gallery/gallery_11_polio.htm
- Microorganismos, (s.f.). Recuperado de <http://cultivodemicroorganismos.wikispaces.com/>
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. (Ed). (2010). *Manual para la implantación de sistemas de depuración en pequeñas poblaciones*. Recuperado de <http://www.google>.

