

TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN ACUICULTURA

Roberto Salazar Cano

Departamento de Diseño y Construcción. Universidad de Nariño.
E mail. Rosal @udenar.edu.co

RESUMEN

El constante deterioro tanto en cantidad como en calidad de las fuentes superficiales que surten de agua a los estanques piscícolas, ha obligado a buscar alternativas de abastecimiento para dichos estanques tales como el aprovechamiento de las aguas subterráneas, la recirculación de sus efluentes, el vertido en bruto de las aguas residuales urbanas o el aprovechamiento de las aguas residuales tratadas de dichas municipalidades.

Por otra parte a los efluentes de estos estanques considerados como vertidos industriales, se hace necesario su tratamiento antes de ser evacuados a fuentes superficiales de acuerdo a la reglamentación sanitaria vigente (Decreto 1594 de 1984)

El presente artículo hace referencia a los diferentes procesos de tratamiento empleados para el mejoramiento de los vertidos de las aguas residuales a las fuentes superficiales con el objeto de disminuir su contaminación. Se presentan experiencias en cuanto a remoción de cargas contaminantes en el centro experimental de la Universidad de Nariño

1. INTRODUCCIÓN

La oferta Hídrica del país, en términos de calidad y cantidad del recurso, se está viendo amenazada por factores tales como el impacto de las actividades industriales y agropecuarias y los procesos migratorios que generan de una parte, dinámicas de crecimiento acelerado de nuestras ciudades y, de otra, la expansión de la frontera agrícola.

La degradación de los recursos de agua dulce se debió en un principio a la contaminación por desperdicios orgánicos y la salinización de los sistemas de riego. Actualmente el problema se ha agravado por la presencia de sólidos en suspensión, metales pesados, desperdicios radiactivos, nitratos, microcontaminantes orgánicos, la acidificación de lagos y corrientes y la eutrofización de lagos y aguas costeras.

Existen tres fuentes principales de contaminación del agua: Las aguas negras domésticas, los afluentes industriales y la escorrentía por el uso del suelo.

La concentración de desperdicios y de aguas negras domésticas generalmente se descargan en extensiones de aguas cercanas. A medida que se descomponen, se va reduciendo el nivel de oxígeno del agua, esencial para la vida acuática y el equilibrio natural de los ecosistemas.

Las aguas negras contienen virus y bacterias patógenas que se derivan de las heces humanas. Estos virus y bacterias, en conjunto con las prácticas sanitarias domésticas, están relacionadas con altas tasas de mortalidad infantil en países en vías de desarrollo.

Los problemas de aguas negras son especialmente críticos en América latina, donde se tratan muy poco. Adicionalmente, el número de ríos con alto de coliformes (100.000 por 100 ml) es el doble que en otras regiones del mundo.

Las enfermedades diarreicas consecuencia de la contaminación del suministro de agua para consumo son responsables de 80% de la morbimortalidad en los países del tercer mundo. Un requisito para el desarrollo es tener una comunidad saludable. El acceso a agua limpia para consumo es fundamental para disminuir el riesgo fecal y la frecuencia de enfermedades asociadas. Su asociación con otras características socioeconómicas tales como educación y desarrollo, constituyen un indicador importante del desarrollo humano.

Los efectos de la contaminación con metales pesados en la calidad del agua pueden causar problemas de salud muy serios. Adicionalmente, la presencia de

enfermedades severas en poblaciones que dependen del recurso como fuente de agua potable está relacionada con la descarga de actividades que generan productos lixiviados de metales tales como mercurio, cromo y cadmio.

En lo que respecta al control de la contaminación hídrica que afecta la disponibilidad del recurso en cuanto a su calidad, el estado Colombiano ha fundamentado su política en la implementación de dos instrumentos complementarios: el primero un instrumento de comando y control (Decreto 1594/84) y el segundo un instrumento económico conocido como tasa retributiva reglamentado por el decreto 901/97. En ambos casos se tiene como propósito cambiar la conducta del agente contaminador de tal manera que este reduzca los niveles de contaminación.

2. LEGISLACIÓN

El decreto 1594/84 reglamenta las disposiciones sanitarias sobre aguas resaltando en el capítulo seis las normas de vertimiento, en donde se estipula que los usuarios deben alcanzar remociones mínimas del 80 % en grasas, aceites, sólidos suspendidos y demanda bioquímica de oxígeno. Aparte de ello, el decreto establece las cargas máximas permisibles para otras sustancias. Este mecanismo corresponde a un instrumento de comando y control que obliga al usuario a cumplir los niveles de contaminación mencionados, bajo el criterio de que si no los cumple, el estado le impondrá una sanción.

Decreto 1594 de 1984. Aguas servidas, usos y vertimientos de residuos líquidos.

Artículo 72. Todo vertimiento a un cuerpo de agua deberá cumplir, por lo menos, con las siguientes normas:

REFERENCIA	USUARIO EXISTENTE	USUARIO NUEVO
PH	5 a 9 unidades	5 a 9 unidades
Temperatura	≤ 40 °C	≤ 40 °C
Material flotante	Ausente	Ausente
Grasas y aceites	Remoción $\geq 80\%$ en carga	Remoción $\geq 80\%$ en carga
Sólidos suspendidos, Domésticos o industriales	Remoción $\geq 50\%$ en carga	Remoción $\geq 80\%$ en carga

REFERENCIA	VALOR
PH	5 a 9 unidades
Temperatura	≤ 40 °C
Acidos, bases, o soluciones ácidas o básicas que puedan causar contaminación; sustancias explosivas o inflamables	Ausentes
Sólidos sedimentables	≤ 10 ml/lt
Sustancias solubles en hexano	≤ 100 ml/lt

DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO DBO5		
Para desechos domésticos	Remoción \geq 30% en carga	Remoción \geq 80% en carga
Para desechos industriales	Remoción \geq 20% en carga	Remoción \geq 80% en carga

Frente a esta problemática la Ley 99 de 1993 estableció en su artículo 42 las tasas retributivas y compensatorias por la utilización directa o indirecta del recurso por la compensación de los gastos de mantenimiento de la renovabilidad de los recursos.

EL QUE CONTAMINA PAGA

La utilización directa o indirecta de la atmósfera, del agua y del suelo, por introducir o arrojar desechos o desperdicios agrícolas, mineros o industriales, aguas negras o servidas de cualquier origen, humus, vapores y sustancias nocivas que se han resultado de actividades antrópicas o propiciadas por el hombre, o actividades económicas o de servicio, sean o no lucrativas, se sujetara al pago de tasas retributivas por las consecuencias nocivas de las actividades expresadas.

El decreto 901/97 corresponde a un mecanismo económico orientado a imponer un costo al contaminador sobre el uso de las fuentes de agua como receptora de los desechos líquidos, de tal manera que el agente contaminador disminuya las cargas contaminantes al resultarle más económico descontaminar que seguir contaminando. En el cobro de la tasa retributiva se reconocen dos componentes: el primero un costo proporcional a la carga contaminante diaria; y el segundo, la tarifa regional que involucra una meta de remoción concertada entre al autoridad ambiental y los agentes.

La tasa retributiva se considera en este sentido como un precio que cobra el estado por el servicio prestado de utilizar el medio ambiente como un basurero, el recaudo de estas tasas son ingresos de las autoridades ambientales regionales.

La puesta en marcha de la tasa retributiva por vertimientos al recurso hídrico en Colombia abre oportunidades para la creación de mercados e inversión en sistemas de tratamientos de aguas residuales, procesos de reconversión industrial hacia tecnologías mas limpias y productivas, sistemas de monitoreo y medición de la calidad del recurso hídrico, investigaciones y consultorías sobre medio ambiente, maquinaria, equipos y software especializado en aspectos relacionados.

De esta manera se crea un mercado potencial en el sector ambiental que cuenta con mas de 1100 municipios, 37 autoridades ambientales regionales incluyendo las de grandes ciudades, empresas de servicios públicos y miles de empresas en los sectores agrícolas, industrial y minero que pagaran la tasa por contaminación del recurso hídrico en el país.

Con la aplicación del instrumento económico los agentes buscaran en el mercado de la tecnología la que más les convenga, de acuerdo con sus características y requerimientos específicos. De esta forma se promueve un mercado competitivo y saludable de tecnologías y servicios profesionales, que asegure que la inversión en descontaminación que hagan los municipios e industrias sean del menor costo posible.

3. OBJETIVOS DE LOS PROCESOS DE TRATAMIENTO

Los objetivos generales de los procesos de tratamiento de aguas residuales han sido:

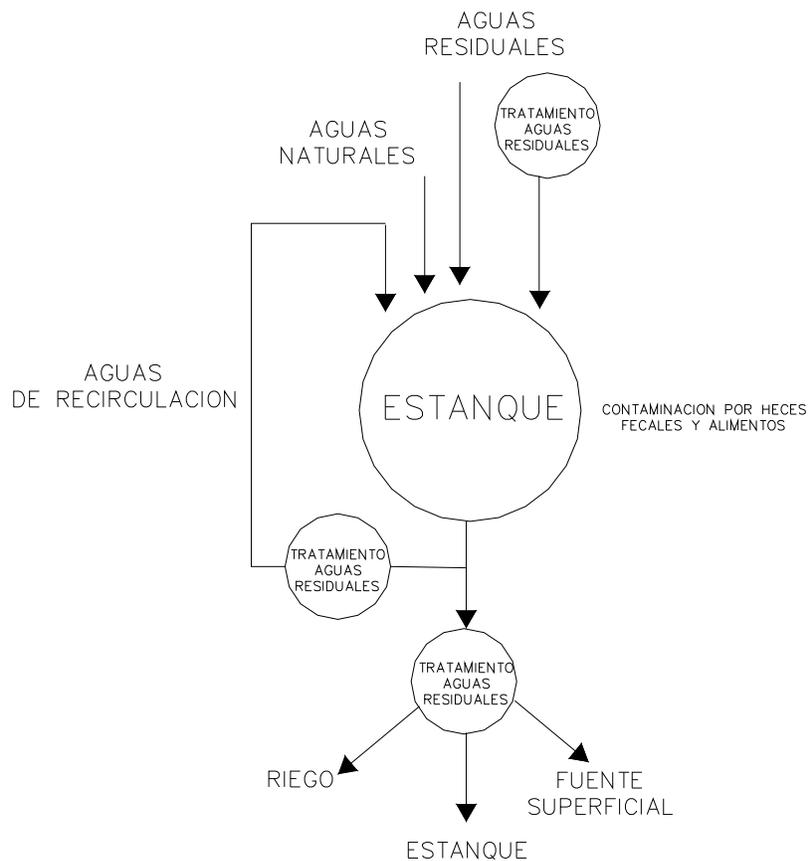
- Eliminación de materia en suspensión y flotantes.
- Eliminación de materia orgánica Biodegradable.
- Eliminación de organismos patógenos.

Sin embargo, con el transcurso del tiempo, como resultado de una mejor comprensión de las consecuencias de un vertido a corto y mediano plazo, mayor preocupación medio ambiental, mayor conocimiento científico y necesidad de reutilizar el agua, se han planteados nuevos objetivos adicionales a los mencionados, como pueden ser la eliminación de nutrientes (nitrógeno, fósforo), de compuestos tóxicos, metales pesados o sólidos inorgánicos disueltos.

Parece pues evidente que en función de las características de las aguas residuales objeto de tratamiento y de los límites exigidos según la normativa existente deberán diseñarse las instalaciones de depuración, analizando las diferentes alternativas posibles en cada caso en función de consideraciones como costos de inversión y explotación, superficie requerida y otros aspectos de tipo local.

4. PRINCIPALES ASPECTOS DEL APROVECHAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN ACUICULTURA

Diagrama de Alimentación y Descarga del Flujo del Agua en Acuicultura



LAS AGUAS RESIDUALES COMO RECURSO VALIOSO.

Como sustituto del agua natural empleada en riego o acuicultura, las aguas residuales desempeñan una importante función en la ordenación de los recursos hídricos. Puesto que el aprovechamiento de aguas residuales libera diversas fuentes de agua natural para beber y para otros usos prioritarios, contribuye a la conservación del agua y tiene ciertas ventajas económicas.

La acuicultura, el cultivo de peces o plantas acuáticas para consumo humano y alimento de animales, incluso de los peces es un campo de aprovechamiento cada vez mayor de aguas residuales en los países en desarrollo y en el que se necesitan con urgencia directrices para protección de la salud pública.

Las aguas residuales en estado bruto se emplean para producción agrícola y piscícola en muchos países, a menudo en forma ilegal y sin la aprobación de las autoridades sanitarias.

Por tanto, el objetivo primario debe estar en garantizar el aprovechamiento racional de aguas residuales y, al mismo tiempo, en proteger la salud.

Algunos contaminantes que, si se evacúan directamente al medio ambiente podrían crear graves problemas de contaminación (sobre todo materia orgánica y nitrógeno, y compuestos de fósforo y potasio), sirven de nutrientes cuando se encuentran en el agua de riego en estanques de peces.

CONTAMINANTES QUÍMICOS.

Las aguas servidas municipales pueden contener contaminantes químicos donde se permite la evacuación de descargas industriales al sistema de alcantarillado. De particular interés son los tóxicos para el hombre, las plantas y la biota acuática; los metales pesados y las sustancias orgánicas no degradables pertenecen a esta categoría.

ASPECTOS ECONÓMICOS.

En algunos casos, el aprovechamiento de efluentes en riego o acuicultura podría significar la exigencia de un tratamiento menos estricto de las aguas residuales que es necesario para controlar la contaminación ambiental; la reducción del costo de tratamiento sería entonces un beneficio del plan de aprovechamiento.

Si se pretende aprovechar las aguas residuales para reemplazar otras fuentes de agua, como las destinadas a uso industrial y doméstico, el ahorro de costos resultante puede ser alto y representar un gran beneficio.

PRÁCTICA ACTUAL DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

El uso de aguas residuales en agricultura está muy propagado en todo el mundo. Surgió con la introducción del alcantarillado a las zonas urbanas y su utilización se ha incrementado en los últimos decenios, sobre todo en las zonas áridas y semiáridas. Las principales razones del aprovechamiento de aguas residuales

son la urgente necesidad de ampliar la producción agrícola, la escasez de agua fresca y el deseo de economizar en la compra de fertilizantes minerales. Hoy en día existe un sinnúmero de programas de uso de aguas residuales en pequeñas parcelas y grandes extensiones. Por ejemplo, en la India hay varios centenares de sistemas de riego con aguas residuales, que cubren una superficie de cerca de 73000 Ha. (13). En los Estados Unidos de América, se han puesto en práctica diversos sistemas de riego con aguas residuales cuyo número aumenta con rapidez (más de 3400 proyectos en 1980). Sin embargo, sólo un número relativamente pequeño de sistemas de riego en el mundo se ha diseñado y realizado de tal forma que confiera la debida protección de la salud de los trabajadores y consumidores. En la mayoría se emplean aguas residuales en estado bruto o sometidas a tratamiento mínimo y se hace poco o nada por proteger la salud. No es rara la toma ilegal de agua a las alcantarillas por agricultores ni la extracción clandestina de aguas residuales de canales de desagüe abiertos.

En los ejemplos presentados el hábito tradicional de cocinar el pescado proveniente de esos estanques es quizá una eficaz medida de protección sanitaria.

ASPECTOS SANITARIOS DEL APROVECHAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

Infecciones causadas por agentes patógenos excretados.

Los virus patógenos, bacterias, protozoarios y helmintos se escapan del cuerpo de personas infectadas en sus excretas y pueden pasar a otras por medio de la boca (es decir, cuando comen verduras contaminadas) o de la piel (como el caso de los anquilostomas y esquistosomas). Las excretas y las aguas residuales contienen generalmente elevadas concentraciones de agentes patógenos excretados, sobre todo en los países donde predominan las enfermedades diarreicas y los parásitos intestinales. Muchas de esas infecciones de importancia para la salud pública se transmiten de varias formas.

Las pruebas existentes indican que casi todos los agentes patógenos excretados sobreviven en el suelo y en los estanques lo suficiente para representar un peligro para los agricultores y piscicultores y también para quienes manejan y consumen pescado y macrófitos acuáticos.

Varias infecciones causadas por agentes patógenos excretados son motivo de preocupación cuando se emplean aguas residuales en acuicultura. Los caracoles acuáticos son huéspedes intermedios de varios parásitos helmínticos, incluso de la especie *Schistosoma*. La transmisión puede ocurrir cuando las personas se bañan en estanques de peces donde hay caracoles infectados y, las larvas de los

esquistosomas penetran en la piel humana. Ciertas especies de peces son los huéspedes intermedios secundarios de varios parásitos helmínticos, por ejemplo de la especie *Clonorchis* (tremátodos). La transmisión ocurre cuando se consume pescado crudo o mal cocido y los quistes que contiene la carne del pescado se incuban en el intestino humano. Algunos helmintos forman quistes en las plantas acuáticas comestibles (por ejemplo, la especie *Fasciolopsis* se enquista en el abrojo acuático) y la transmisión puede ocurrir cuando se consume la fruta de la planta. Los peces que crecen en estanques fertilizados con excretas o que contienen aguas residuales también se puede contaminar con bacterias y virus. Estos son transportados pasivamente en las escamas o las agallas, el líquido intraperitoneal, las vías digestivas o el músculo de los peces. El pescado que se consume crudo o mal cocido puede transmitir varias infecciones bacterianas o víricas.

MEDIDAS DE PROTECCIÓN SANITARIA EN EL APROVECHAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

Se pueden tomar cuatro medidas principales para proteger la salud al aprovechar aguas residuales, a saber, tratamiento de éstas, restricción de cultivos, control de las clases de empleo de las aguas residuales y de la exposición a las mismas y fomento de la higiene. De estas, el tratamiento de las aguas residuales y la restricción de cultivos han sido las más ampliamente adoptadas en los sistemas de aprovechamiento controlado. En el futuro, con un método de planificación mejor integrado, se espera poder seleccionar un conjunto óptimo de medidas, según las condiciones socioculturales, institucionales y económicas de cada lugar.

En los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales se acentúa la reducción o la eliminación de la demanda bioquímica de oxígeno y de los sólidos en suspensión, en tanto que en el tratamiento para aprovechamiento se exige la eliminación de agentes patógenos como los helmintos, operación para la cual no son muy eficaces los métodos convencionales.

La desinfección –de ordinario mediante cloración– de las aguas residuales sin tratar nunca se ha logrado a cabalidad en la práctica. Se puede emplear para reducir el número de bacterias excretadas en los efluentes de una planta de tratamiento convencional si esta funciona bien. Sin embargo, es muy difícil y costoso mantener una tasa elevada, uniforme y previsible de eficacia en la desinfección. En todo caso, la cloración no afectará en nada a los huevos de los helmintos. Siempre que se pueda cumplir a cabalidad la directriz sobre la calidad de los efluentes mediante tratamiento en un estanque de estabilización bien diseñado o en un depósito de aguas residuales de cloración, no es necesaria ni se justifica la desinfección.

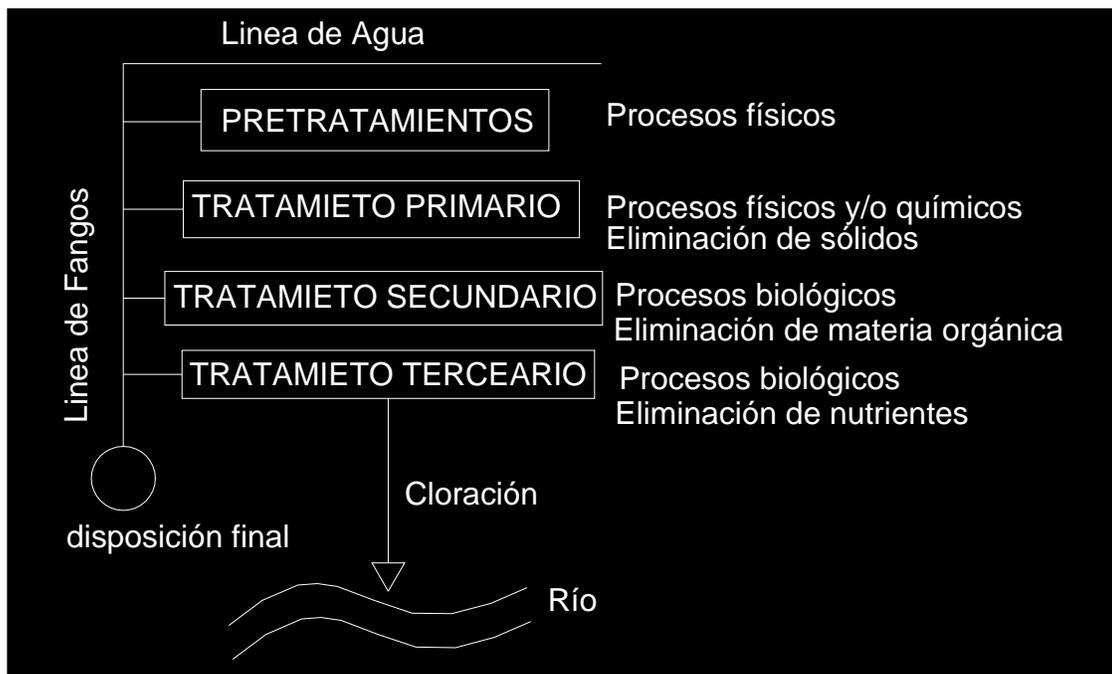
Algunas veces el tratamiento terciario se emplea para mejorar los efluentes del tratamiento biológico secundario donde se pretende emplearlos en agricultura y acuicultura. La experiencia en el empleo de esa práctica para el tratamiento de agua potable indica que la reducción de las concentraciones de bacterias y virus podría ser solo nominal. Sin embargo, la eliminación de huevos de helmintos en una planta de filtración en buen funcionamiento puede ser sustancial.

INVESTIGACIONES NECESARIAS EN MATERIA DE PROTECCIÓN SANITARIA.

Puesto que es cada vez mayor la importancia del uso de aguas residuales en agricultura y acuicultura alrededor del mundo y éste representa un campo en rápida expansión, se necesita continuar e intensificar la investigación sobre diversas materias y complementarla con estudios de casos bien orientados sobre la modernización de las prácticas tradicionales y la ejecución y el manejo de programas de aprovechamiento de aguas residuales recién establecidos. Los esfuerzos deberán centrarse en subsanar la falta de conocimientos y, donde sea posible, vigilar y evaluar la eficacia de las directrices recomendadas.

5. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

ESQUEMA GENERAL BASICO DE UNA PLANTA DE TATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PTAR. PROCESOS UNITARIOS



LINEA DE AGUA

Dentro de la línea de agua hay que distinguir las siguientes fases:

Pretratamiento, mediante el cual se eliminan las materias gruesas, que debido a sus naturaleza o tamaño pueden originar problemas en los tratamientos posteriores. Tal es el caso de las materias flotantes, arenas, grasas, etc.

Las operaciones que comprende generalmente son: desbaste, desarenado y desengrasado, aunque en algunos casos también se puede incluir preaireación, tamizado, predecantación, etc.

Tratamiento primario, destinado fundamentalmente, a la eliminación de la materia en suspensión, siendo poco efectivo en la eliminación de la materia orgánica, aunque reduce parte de la DBO "suspendida".

Dentro de este proceso unitario se puede incluir la decantación primaria, flotación y los procesos físico-químicos, permitiendo estos últimos un incremento en la reducción de la Materia .Sólida. y DBO_5 .

Tratamiento secundario, por el que se elimina gran parte de la contaminación orgánica. Se trata principalmente de procesos de tipo biológico, entre los que cabe distinguir:

- Fangos activos.
- Lechos bacterianos / filtros biológicos sumergidos.
- Biodiscos.
- Estanques de estabilización.
- Etc.

Después de esta operación, el efluente pasara por una etapa de clarificación para eliminar los floculos biológicos que se han producido (fangos en exceso).

Tratamiento terciario

Permite obtener mejores rendimientos en la eliminación de la DBO_5 , Sólidos. así como reducir otros contaminantes nutrientes y metales, etc.

Se emplea por tanto cuando se ha definido objetivos en los causes receptores que exigen una excelente calidad del agua, para evitar problemas de eutrofización o simplemente hacer frente a cargas excepcionales tanto en los que se refiere a su cantidad (vertidos estacionales) como a su topología (vertidos industriales).

Conviene por tanto advertir que aunque se sigue utilizando el concepto de tratamiento de tratamiento terciario como una etapa posterior al secundario, actualmente no tiene sentido ya que a veces se trata de procesos previos al secundario y otras son simplemente modificaciones del propio proceso biológico, por lo que quizás tendría mas sentido hablar de tratamientos complementarios o avanzados.

LINEA DE FANGOS

El tratamiento de las aguas residuales, cuyo principal objetivo es la depuración de las mismas antes de su vertido a un cause receptor, conduce a la producción de unos desechos llamados fangos.

Los problemas fundamentales que originan atendiendo a su disposición final, son numerosos, destacándose:

- Necesidad de una cierta extensión de terreno a veces inexistente.
- Transporte de grandes cantidades de materias a zonas a veces alejadas.
- Impacto ambiental negativo (olores, insectos, lixiviados contaminantes, contaminación atmosférica, etc.).

La línea de tratamiento de fangos tiene que incluir esencialmente las siguientes fases:

- Reducción de volumen para evitar el manejo de grandes cantidades de fango.
- Estabilización de los mismos para evitar problemas de fermentación y otros riesgos.
- Consecución de una textura adecuada para que resulte manejable y fácilmente transportable.

Todas estas fases de tratamiento y eliminación de fangos implica una serie de etapas, como son:

- ESPESAMIENTO
- ESTABILIZACION
- ACONDICIONAMIENTO
- DESHIDRATACION
- EVACUACION FINAL

5.1 DESCRIPCION DE LOS PROCESOS UNITARIOS

5.1.1 LINEA DE AGUA

5.1.1.1 PRETRATAMIENTO.

DESBASTE.

Su función es la eliminación por intercepción o separación del agua residual de los sólidos de tamaño grande y mediano que, de otro modo, podrían deteriorarse o bloquear los equipos mecánicos y obstruir el paso de la corriente de agua.

El procedimiento más conveniente consiste en hacer pasar el agua a través de unas rejillas, siendo la separación entre los barrotes el factor determinante de la eficacia de un desbaste. De acuerdo con este parámetro, esta operación unitaria puede clasificarse en:

- Desbaste grueso, con un paso libre entre barrotes, en general, de 50 a 100 mm.
- Desbaste fino, con un paso libre de 10 a 25 mm, incluso menor.

Se aconseja además en la mayor parte de las instalaciones instalar una etapa previa de pre – desbaste que recoja los elementos de mayor volumen que pueden llegar a los colectores y que serán evacuados directamente mediante cuchara bivalva o equipo similar.

En grandes instalaciones es interesante hacer pasar los residuos de las rejillas por un mecanismo de compactación para reducir su volumen.

Suele ser bastante común que esta etapa de tratamiento se cubra y se trate el aire viciado para evitar problemas de olores desagradables.

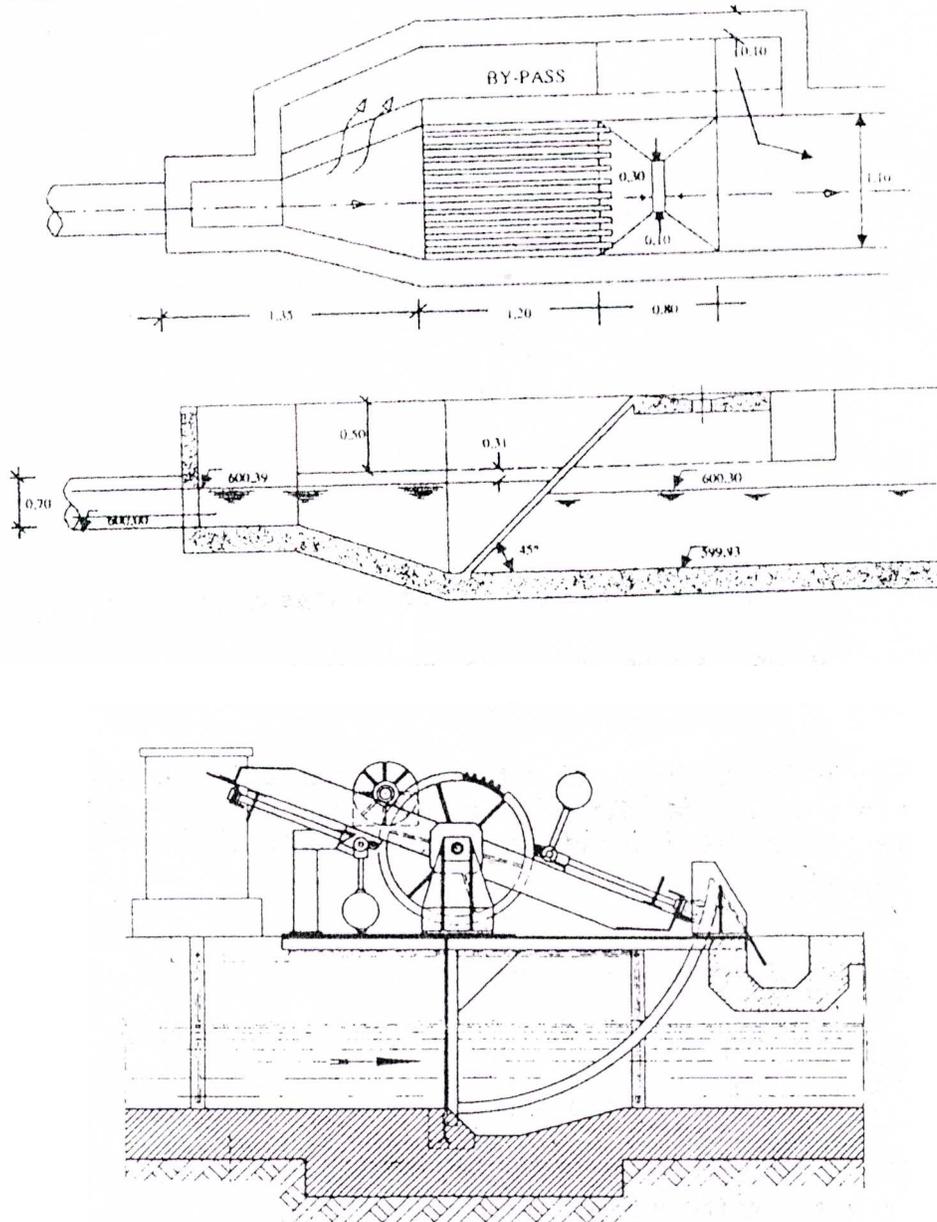
DESARENADOR.

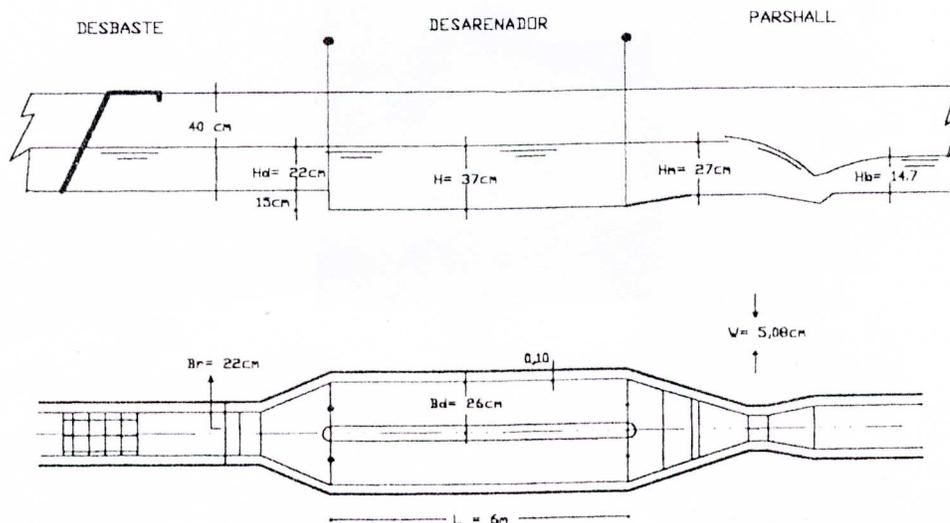
El objetivo de los desarenadores es la extracción de la mayor cantidad posible de las “arenas” que lleva el agua, incluyendo dentro de esta denominación, a las arenas propiamente dichas, gravas, partículas mas o menos grandes de materias minerales y otros elementos de origen no orgánico, etc. Con el fin primordial de proteger los equipos mecánicos contra la abrasión y el desgaste, además de evitar o reducir la acumulación de materias pesadas en las conducciones, especialmente en codos y cambios de dirección.

Los desarenadores se diseñan normalmente para eliminar partículas de arena de diámetro superior a 0.2 mm.

Se pueden considerar fundamentalmente dos sistemas de desarenado, tipo canal y aireados, recomendándose los primeros para poblaciones pequeñas.

TIPOS.





DESENGRASE.

El objetivo de este proceso unitario es eliminar las grasas, espumas y demás materias flotantes mas ligeras que el agua, que de otra forma podrían ser evacuados con el agua tratada o ser enviados junto con los fangos al proceso de digestión, que en el caso de ser anaerobia tendría el inconveniente de favorecer la formación de costras, que solo con una agitación eficaz podría eliminarse.

Pueden considerarse dos sistemas de desengrasado:

- Eliminación de grasas en la operación de desarenado.
- Eliminación de grasas en una operación separada.

Normalmente y salvo casos muy excepcionales, en las depuradoras de aguas residuales urbanas se recurre al primer sistema, mediante la oportuna inyección de aire y previsión de una zona de tranquilización en el tanque de desarenado.

5.1.1.2 TRATAMIENTO PRIMARIO.

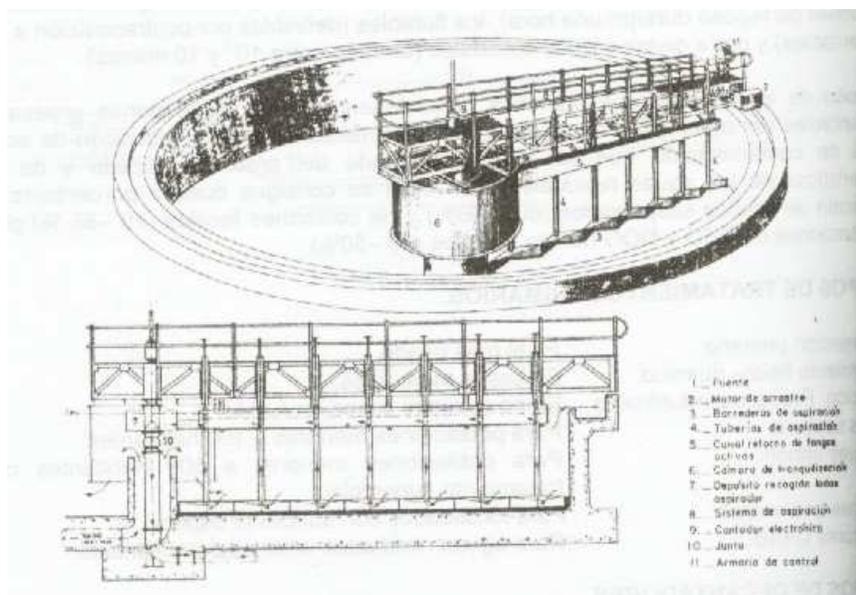
El principal objetivo del tratamiento primario es la reducción de sólidos en suspensión, además de una cierta reducción también de la demanda bioquímica de oxígeno, dado que parte de dichos sólidos esta constituida por materia orgánica. El grado de tratamiento o nivel de reducción de estos índices de contaminación depende del proceso utilizado y de las características de las aguas residuales.

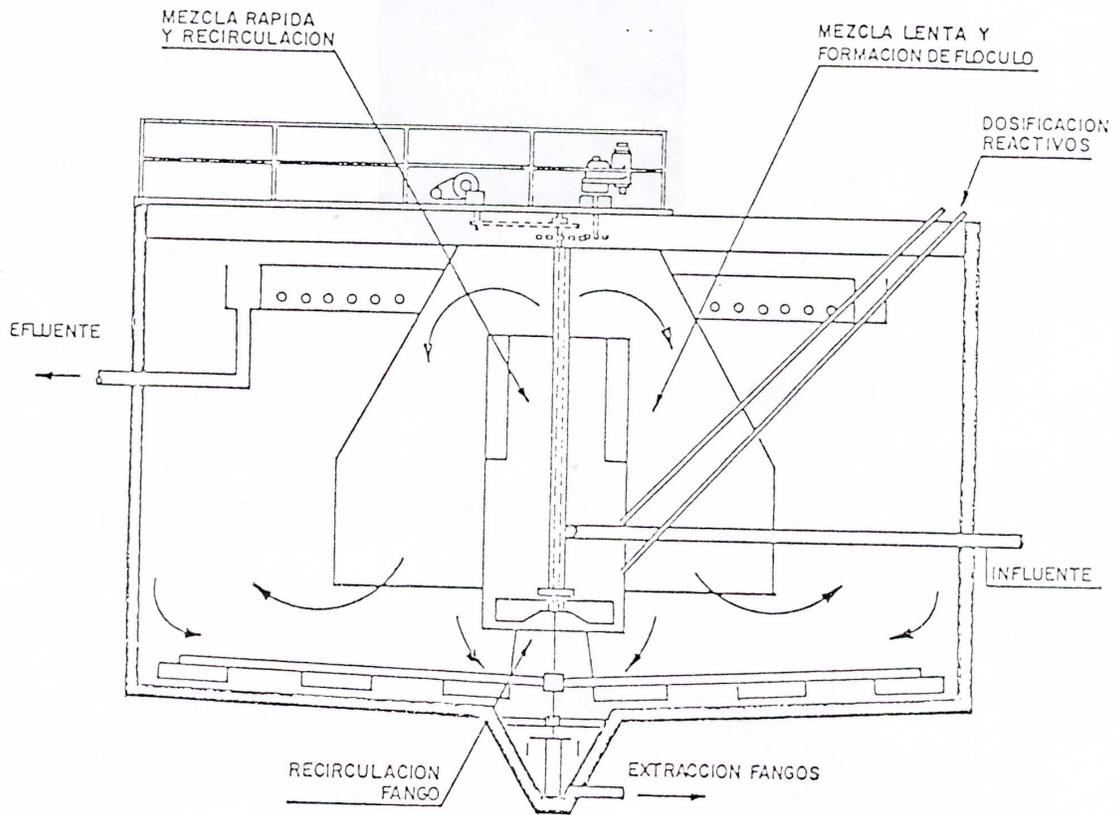
Los sistemas más habituales son:

Decantación primaria
Fosas sépticas
Tanques Imhof
Tratamiento Físico -Químico
Lagunas Anaerobias
Reactor UASB

SEDIMENTACIÓN O DECANTACIÓN PRIMARIA

Cuya finalidad es la reducción de los sólidos en suspensión bajo la exclusiva acción de la gravedad, por lo que solo se puede esperar la eliminación de los sólidos sedimentables y las materias flotantes. No se recomienda el uso de la decantación primaria cuando el tratamiento biológico posterior es de baja carga (aireación prolongada, oxidación total, etc.).



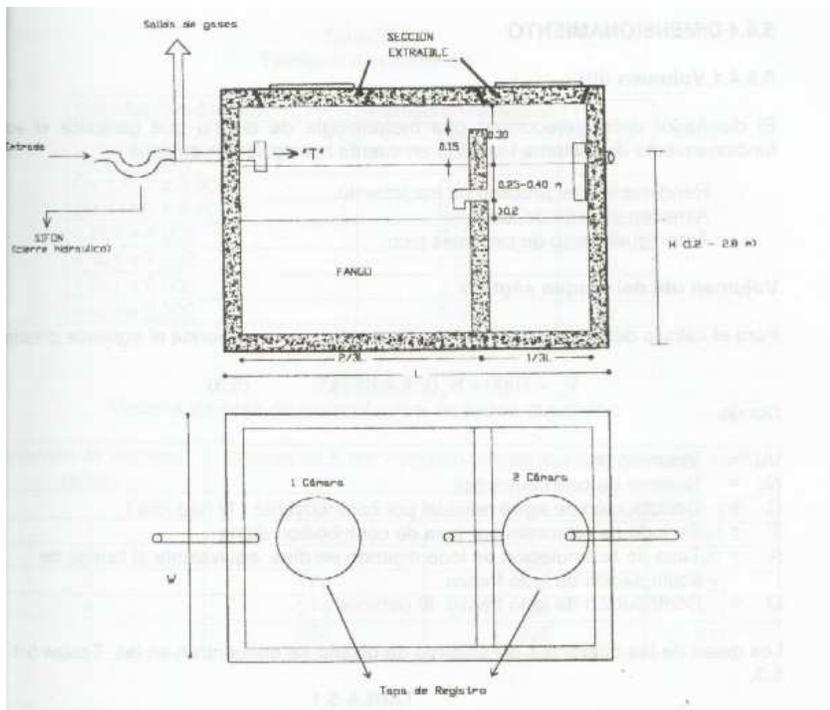


FOSA SÉPTICA

Es un proceso de tratamiento primario aplicable a viviendas aisladas, comunidades o núcleos rurales con población no superior a 100 habitantes y que disponen de red de alcantarillado separativa.

Consiste en un depósito cerrado (generalmente enterrado) por el que se hace pasar el agua residual con el objeto de someterla a decantación. A su vez, el fango decantado se almacena en el mismo depósito viéndose sometido a una digestión anaerobia. La fosa séptica cumple doble objetivo:

- Decantación primaria.(línea de agua) reducción de SS y s flotante.
- Digestión anaerobia y almacenamiento de fangos.

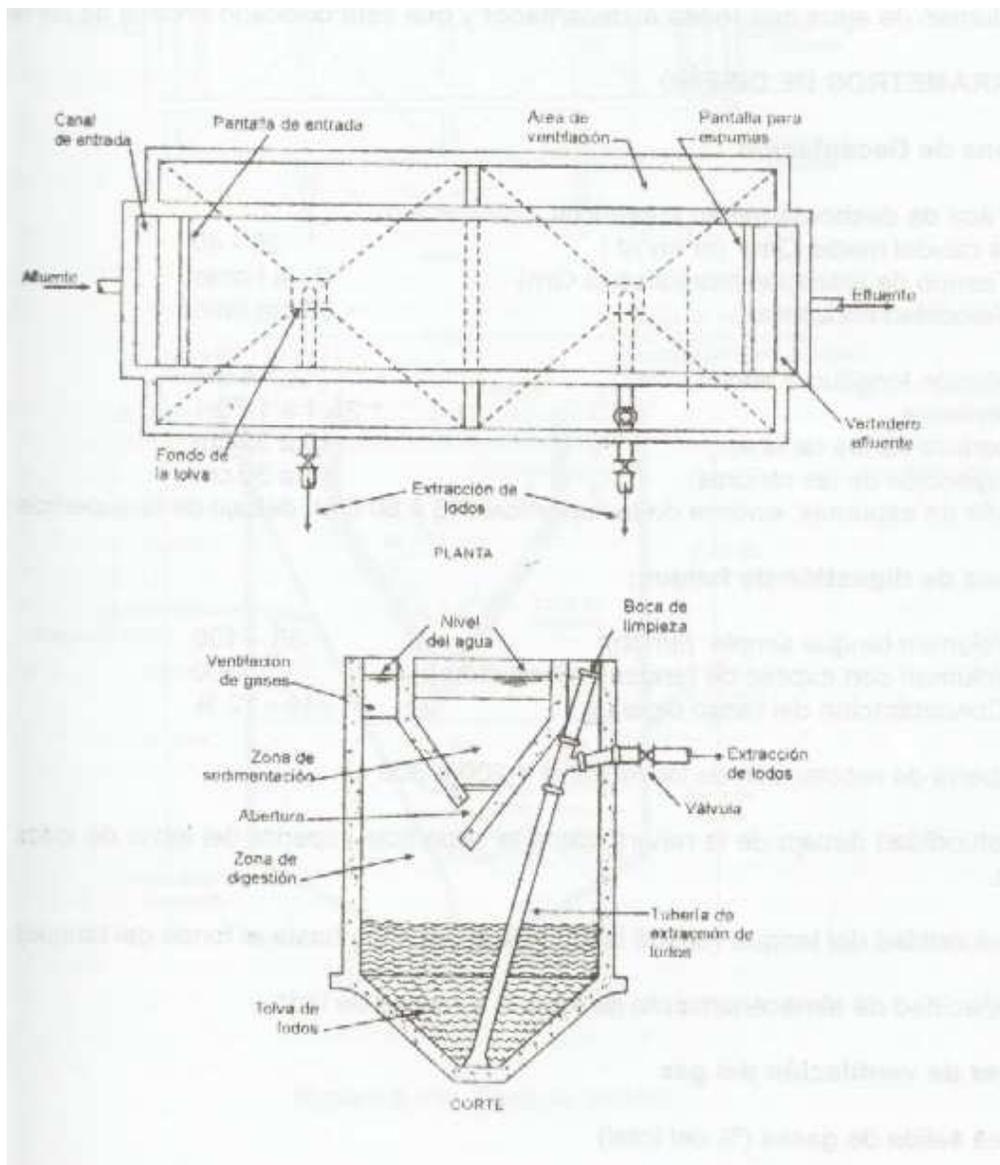


TANQUE IMHOOF

Generalmente se utiliza para poblaciones tributarias de 500 personas o menos. Consiste en un depósito dividido en tres compartimientos uno el superior otro el inferior otro el respiradero. El agua a tratar atraviesa longitudinalmente el compartimiento superior (zona de decantación). Los sólidos suspendidos que

sedimentan caen al compartimiento inferior (zona de almacenamiento y digestión de fangos) a través de una abertura situada en el fondo del compartimiento superior y que es la única zona de comunicación entre ambos compartimientos. Alrededor al compartimiento superior se encuentra el respiradero y cámara de natas o área de ventilación.

En resumen el objetivo del tanque imhoof es proceder a la decantación del agua residual y al almacenamiento y digestión de los fangos sedimentados, pero a diferencia de la fosa séptica, consiguiendo el funcionamiento independiente de ambas líneas de tratamiento: Agua y Fango.

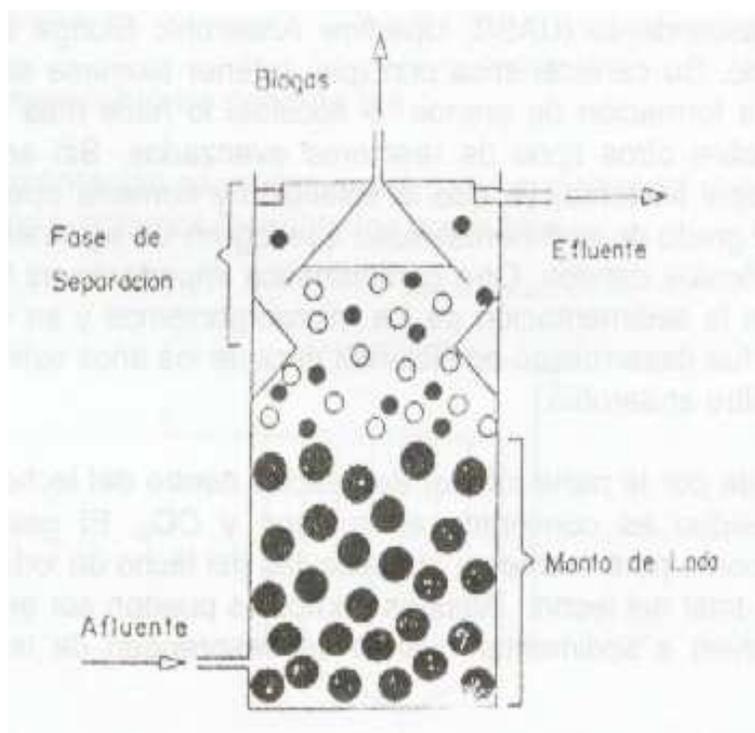


REACTOR UASB.

De las nuevas biotecnologías de tratamiento anaerobio de aguas residuales, el reactor anaerobio de flujo ascendente, UASB es el más utilizado en el mundo tanto para aguas residuales urbanas como industriales . Su característica principal, retener biomasa sin necesidad de un soporte, gracias a la formación de granos o flóculos lo hace más económico y le da ventajas técnicas sobre otros tipos de reactores avanzados.

Consiste en un tanque donde el agua es introducida por la parte inferior del reactor dentro del lecho de lodo, donde la mayor parte del residuo es convertido en metano y CO_2

Una característica importante es la recuperación de gas sin interferir con la sedimentación de los microorganismos y su caída a la capa de lodos. El gas formado produce suficiente agitación como para mantener las películas del lecho de lodos en movimiento y conseguir la mezcla total del lecho





5.1.1.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO.

El objetivo que persiguen los tratamiento biológicos es la eliminación o reducción de la contaminación orgánica y la coagulación y eliminación de los sólidos coloidales no decantables. Estos procesos se llevan a cabo mediante la intervención de microorganismos que actúan sobre la materia orgánica e inorgánica, suspendida, disuelta y coloidal existente en el agua residual, transformándola en sólidos sedimentables que pueden separarse fácilmente.

FUNDAMENTO DE LOS PROCESOS BIOLÓGICOS

El fundamento de los procesos biológicos de depuración de aguas consiste en la eliminación de la contaminación del agua mediante una biocenosis ubicada en un lugar adecuado mediante el control del medio ambiente. La biocenosis o comunidad de organismos vivos generalmente está constituida por microorganismos, pero en algunos procesos puede llegar a intervenir o incluso a tener importancia organismos superiores.

La contaminación del agua constituye el sustrato o alimento de dicha biocenosis, la cual se mantendrá controlada en un cierto lugar adecuado al que denominaremos reactor biológico. En dicho reactor se deben mantener las condiciones ambientales para permitir el desarrollo óptimo de la biocenosis. Así, si esta es de tipo aerobio se suministrará el oxígeno suficiente para mantener condiciones aerobias en el reactor, por el contrario si fuesen de tipo anaerobio se evitará la entrada de oxígeno al sistema para mantener condiciones anaerobias. En el proceso anóxico se remueve nitrógeno, mediante la

conversión de nitrato en nitrógeno gaseoso, en ausencia de oxígeno. Como consecuencia del consumo de su sustrato y de los nutrientes la biomasa del reactor aumentará lo cual puede exigir la extracción del crecimiento de biomasa (fango) para dejar al agua sin esta.

La contaminación del agua, sustrato y/o nutrientes, quedará eliminada debido a su utilización por la biocenosis, la cual generará productos como son anhídrido carbónico (CO₂) en ambiente aerobio, CO₂ y metano en ambiente anaerobio, nitrógeno y sulfídrico en ambiente anóxico.

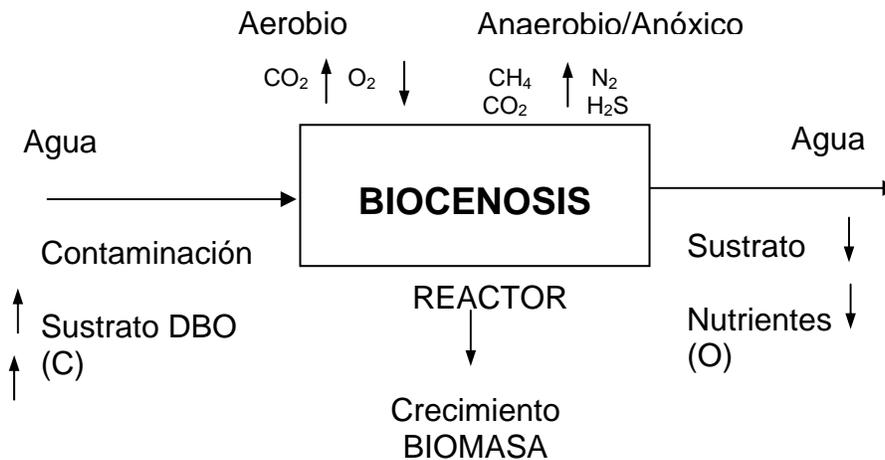
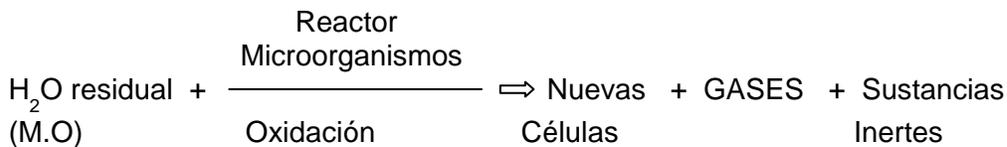


Figura No. 1 Fundamento de los Procesos Biológicos

La Materia Orgánica es el principal grupo contaminante de las Aguas Residuales y causante de la casi total peligrosidad sanitaria. La actividad biológica también se usa para remover nitrógeno y fósforo del agua residual.



TIPOLOGÍA BÁSICA DE PROCESOS BIOLÓGICOS

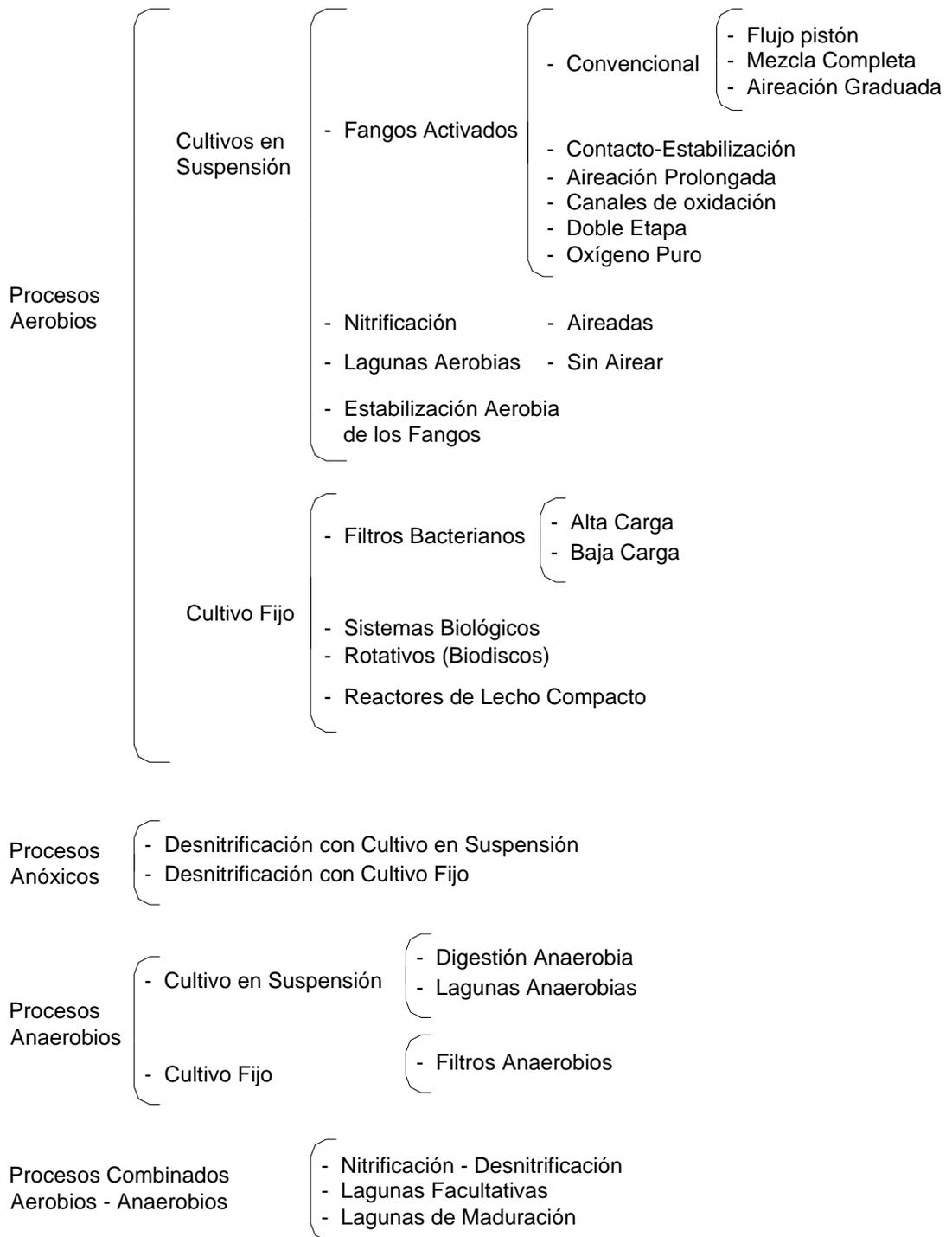
Se pueden realizar múltiples clasificaciones de los procesos biológicos basándose en distintos aspectos, a continuación se destacan algunas de ellas.

Tabla 2
Tipos de procesos biológicos

PROCESOS BIOLÓGICOS	Según elemento a eliminar o trans	<ul style="list-style-type: none"> • Eliminación de materia orgánica Carbonosa (o DBO (c)) • Nitrificación (o eliminación de DBO (N)) • Desnitrificación • Eliminación de fósforo
	Según potencial de oxidación – reducción del medio	<ul style="list-style-type: none"> • Aerobio • Anóxico • Anaerobio
	Según la forma de estar la biomasa en el reactor	<ul style="list-style-type: none"> • Cultivo en Suspensión • Cultivo Fijado a Soportes

Según el elemento contaminante a eliminar o transformar se puede diferenciar: Procesos biológicos para la eliminación de materia orgánica carbonosa, es decir para la eliminación de la DBO o DBO carbonosa; Para la eliminación de la demanda bioquímica de oxígeno debida al nitrógeno o DBO nitrogenada que corresponde a los procesos denominados de nitrificación, es decir transformación de nitrógeno orgánico y amoniacal a nitritos y nitratos; para la eliminación de nitrógeno oxidado (nitritos, nitratos) en forma de nitrógeno gaseoso, también denominados procesos de Desnitrificación (procesos anóxicos); para la eliminación global de nitrógeno como combinación de los dos anteriores (Nitrificación - Desnitrificación), y para eliminación de fósforo.

Principales Procesos Biológicos



Los procesos biológicos más interesantes son:

- Fangos activos.
- Lechos bacterianos / discos biológicos.
- Filtros biológicos sumergidos.
- Estanques de estabilización.
- Lagunas aireadas, etc.

A continuación se hace una breve descripción de algunos de estos sistemas:

FANGOS ACTIVOS.

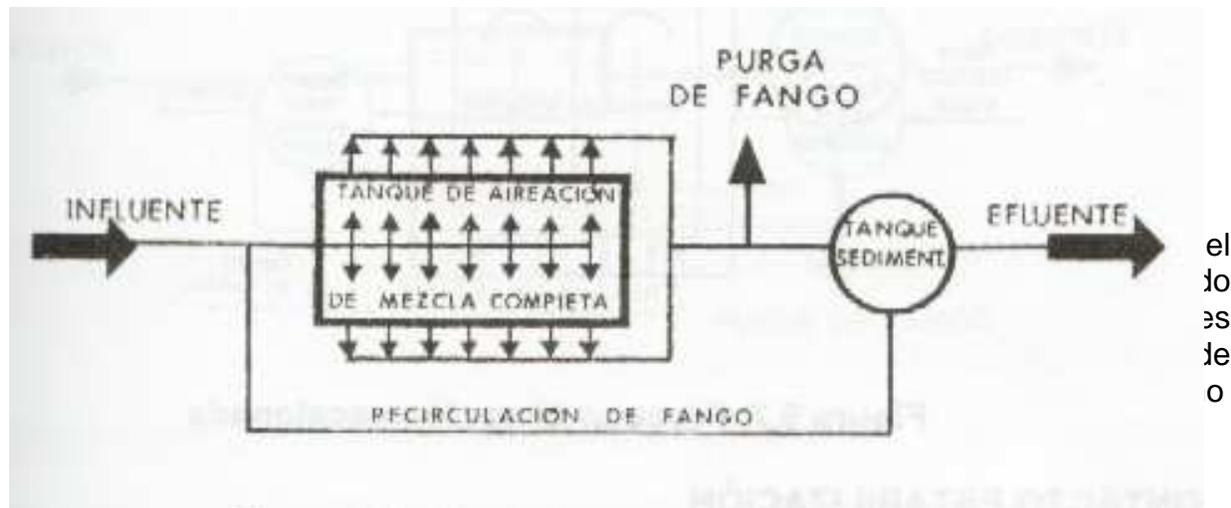
El proceso de fangos activos ha sido y sigue siendo el más utilizado en el diseño de una PTAR. Ahora bien, existen diferentes variantes (aireación prolongada, contacto – estabilización, flujo – pistón, etc.) y nuevas concepciones (doble etapa, nitrificación – desnitrificación, etc.) que obligaran a analizar cual de las opciones resulta más adecuada en función de factores como tamaño de la población, costes, exigencias del efluente, etc.

En el proceso de fangos activos pueden distinguirse dos operaciones diferentes, la oxidación biológica y la separación sólido – líquido.

La primera de ellas tiene lugar en el reactor biológico o cuba de aireación, donde se provoca el desarrollo de un cultivo biológico formado por gran número de microorganismos agrupados en floculos (fangos activados). La población bacteriana se mantiene en un determinado nivel (concentración de sólidos MLSS) para llegar a un equilibrio entre la carga orgánica a eliminar y la cantidad de microorganismos existentes en el reactor.

El proceso de fangos activos necesita para su desarrollo un sistema de aireación y agitación, que suministre el oxígeno necesario (bien mediante turbinas, bien mediante aire insuflado), para la acción depuradora de las bacterias aerobias, evite la sedimentación de los flóculos en el reactor y permita la homogenización de los fangos activos.

Una vez que la materia orgánica haya sido suficientemente oxidada el licor mezcla se envía al clarificador o decantador secundario en el que se separan el agua depurada y los fangos floculados. Estos últimos se recirculan al reactor biológico, para mantener en el mismo una concentración suficiente de bacterias. El excedente (fango en exceso) se extrae del sistema y se evacua hacia el tratamiento de fangos.



una primera etapa de tratamiento biológico.

El principio de funcionamiento de los lechos consiste en hacer caer el agua a tratar, previamente decantada, en forma de lluvia, sobre una masa de material de gran superficie específica, que sirve de soporte a los microorganismos depuradores. La materia orgánica presente en el agua residual es degradada por una población de microorganismos adherida al medio.

Tal como se muestra en la figura 7.1, la materia es absorbida sobre la película biológica en cuyas capas externas es degradada por los microorganismos aerobios; cuando los microorganismos crecen, el espesor de la película aumenta y

el oxígeno es consumido antes de que pueda penetrar todo el espesor de la película. Por tanto, se establece un ambiente anaerobio cerca de la superficie del medio.

Según se va aumentando el espesor de la película, los microorganismos situados cerca de la superficie del medio de soporte, al no llegarles materia orgánica suficiente, entran en fase endógena y pierden su capacidad de adherirse al medio. En estas condiciones el agua residual arrastra la película y comienza el crecimiento de otra nueva.

Para que se realice el proceso de oxidación, la película biológica requiere un suministro continuo de oxígeno, que lo toma generalmente del aire que circula a través del medio de soporte, por tiro natural.

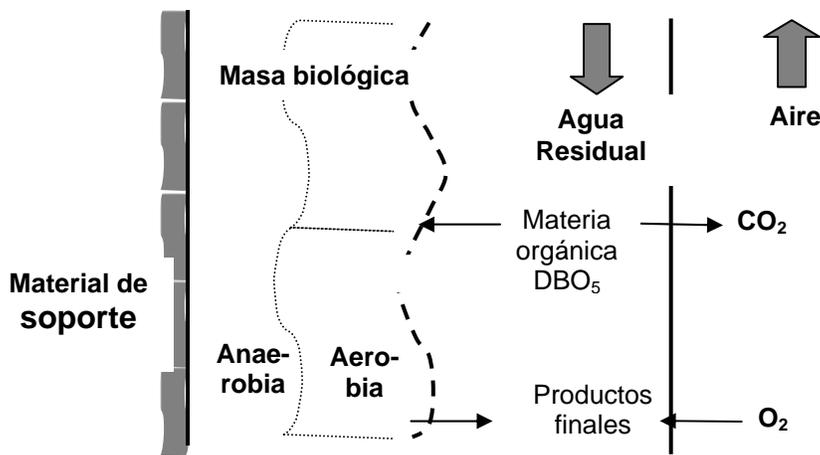
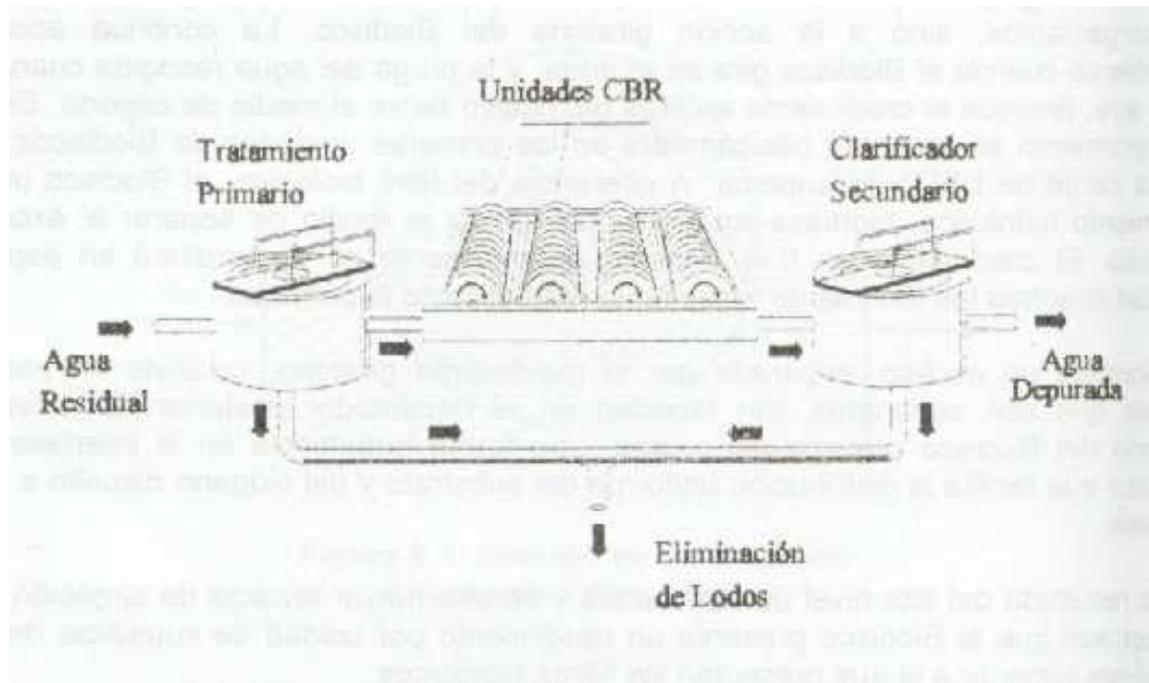


Figura 7.1 Representación esquemática de la sección transversal de la película biológica de un lecho bacteriano

La película biológica llamada mucílago, contiene bacterias aerobias y anaerobias, hongos, algas y protozoos. La fauna predadora es generalmente abundante: gusanos, larvas de insectos, arácnidos, etc. La figura 7.2 representa esquemáticamente un lecho bacteriano.



LAS LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN.

Las lagunas de estabilización son estructuras simples, que sirven para embalsar el agua residual, donde debido a procesos físico-químicos y biológicos se produce la estabilización de la materia orgánica, convirtiendo el agua residual en un medio apto para la vida acuática y haciendo posible su reutilización.

Este sistema, junto con otras alternativas (filtros verdes, lechos de turba, etc.) están consideradas como tecnologías de bajo coste debido a la reducción de gastos de inversión y explotación que implican, además de la simplicidad de operación y mantenimiento que las hace optimas especialmente para pequeñas instalaciones.

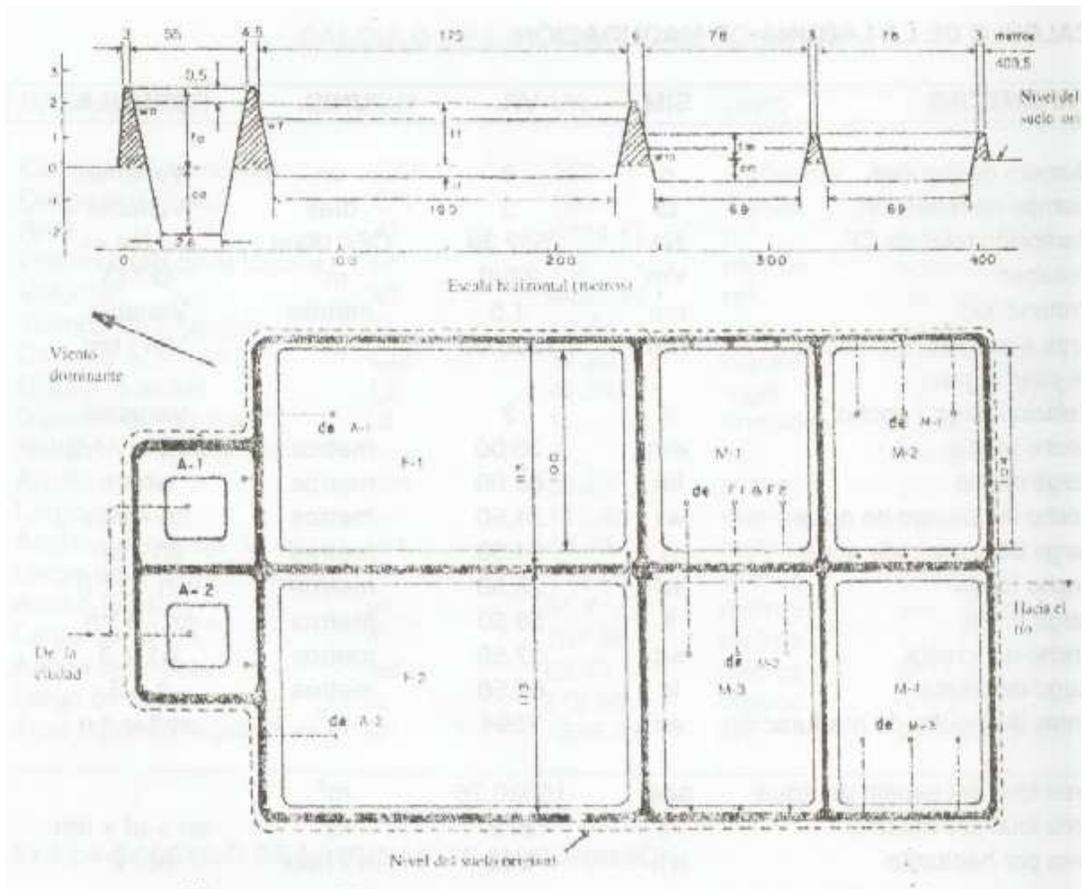
Las lagunas de estabilización se aceptan hoy en día como la tecnología más apropiada para el tratamiento de aguas residuales para la producción de efluentes apropiados para el empleo en riego y acuicultura , excepto donde no hay terrenos disponibles o si los hay son muy costosos, o donde existen determinadas condiciones locales que impiden su uso.

Un sistema de lagunas bien diseñado, en climas con temperaturas medias de 20 a 25 grados centígrados, puede conseguir fácilmente niveles de remoción de:

- 90 % de DBO
- 85 % S.S
- 10^5 de bacterias
- 10^4 de virus
- 100 % de helmintos y huevos de parásitos.

Además de este alto nivel de eficiencia, su costo es menor que otros sistemas convencionales y el mantenimiento es mínimo.

Todo esto hace que la solución de las lagunas de estabilización, para el tratamiento de aguas residuales, especialmente domésticas en la región, sea la alternativa más conveniente cuando se dispone de áreas adecuadas ($1.5 \text{ m}^2/\text{hab}$ a $4 \text{ m}^2/\text{hab}$ dependiendo de la temperatura).



TIPOS DE LAGUNAS.

Según su destino y el principio de funcionamiento, las lagunas de estabilización se clasifican en :

- anaerobias
- facultativas y de
- maduración o pulimento.

1 Las lagunas anaeróbicas.

* En estas lagunas la digestión de la materia se realiza por acción de las bacterias anaeróbicas, es decir, aquellas que pueden extraer el oxígeno de los compuestos, pues no hay oxígeno libre en el agua.

* Son las primeras unidades de tratamiento.

* Los fenómenos que ocurren en este tipo de lagunas son:

- La mayoría de los sólidos suspendidos sedimentan.
- Hay alguna remoción bacterial, pero no significativa.
- Los materiales flotantes (grasas, plásticos y otros) salen a la superficie.
- Parte de los parásitos y sus huevos sedimentan.
- Parte de la materia orgánica es digerida por acción de las bacterias anaeróbicas y ocurren fenómenos de concentración, descomposición y mineralización.
- Se generan gases :
 - CO₂
 - CH₄
 - H₂S

- La acumulación de los lodos es de 40 lit/hab/año

* El efluente de una laguna anaeróbica debe ser transferido a una laguna facultativa.

* La remoción de DBO varía entre 40% a 60% dependiendo de la temperatura y el tiempo de retención.

* Se ha comprobado que su eficiencia no depende de su área superficial.

- * Su profundidad dependerá del costo de excavación y el tipo de suelos. Generalmente la profundidad es de 2.5 a 4.0 m.
- * Las lagunas anaeróbicas funcionan prácticamente como los tanques sépticos y si sus dimensiones no fueran grandes sería preferible que fueran cubiertos. Son más eficientes a pH mayores de 6.5 y alcalinidad mayor que 1.500 mg/l como CaCO_3
- * La presencia de sulfatos en concentraciones mayores a 100 mg/Lt como SO_4H_2 causa problemas de olores. El control de esto se puede realizar incrementando el PH alrededor de 7 o recirculando el efluente.
- * Deberían ser siempre utilizadas pues ahorran mucho espacio.
- * Cuando la temperatura frecuentemente baja a menos de 20 grados centígrados, es preferible utilizar un tiempo de retención de no menos de 2 días.

2 Las lagunas facultativas.

- * Pueden ser la primera unidad de tratamiento, pero si se utilizan anaeróbicas, se ahorra espacio y mejora su funcionamiento.
- * Las lagunas facultativas tienen dos partes: la superior que es aeróbica y la del fondo que es anaeróbica.
- * La acción de la luz solar, el viento, la temperatura, el fenómeno de fotosíntesis y el crecimiento de vida acuática son de extrema importancia para su buen funcionamiento.
- * La digestión de la materia orgánica se produce fundamentalmente por la acción de las bacterias aeróbicas, ya que en éste medio hay oxígeno disuelto.
- * Hay un gran crecimiento de algas por acción de la fotosíntesis y la presencia de nutrientes. Las algas producen O_2 y aprovechan el CO_2 .
- * En éstas lagunas hay un alto contenido de oxígeno disuelto y éste varía durante el día.

- * Las bacterias aprovechan el oxígeno y atacan la materia orgánica desdoblándola, y como producto de su trabajo producen CO₂ que es aprovechado por las plantas.
- * Cuando son utilizadas como secundarias y la temperatura está entre 10 y 15 grados centígrados, el mínimo tiempo de retención debía ser de 5 días, y si hay terreno de 10 días.
- * Si es la primera laguna, no menos de 10 días.
- * La profundidad recomendable es de 1.50 metros y nunca menos de 0.90 metros.
- * La DBO que se presenta a la salida es muy diferente a la original; ésta se produce por la mortandad de algunas algas.

200 - 400 Kg DBO₅ / Hect.día.

3 Lagunas de maduración.

- * Son diseñadas para asegurar la destrucción de las bacterias patógenas.
- * Su eficiencia depende de:
 - la radiación solar
 - la claridad del agua
 - los nutrientes presentes
 - la profundidad
 - el PH y
 - los tóxicos presentes
- * TR = 5 días, si es una sola laguna de maduración.
3 días, cuando hay 2 o más lagunas operando en serie.
- * Solo deben recibir agua de una laguna facultativa.
- * Si están en serie trabajan mejor.
- * La profundidad recomendable es de 1.50 metros, nunca menos de 0.90 metros, pues a menos de ésta profundidad crecerían plantas.

5.1.1.4 TRATAMIENTO TERCIARIO O COMPLEMENTARIO.

El interés de disponer de tratamientos terciarios o complementarios se debe fundamentalmente a los siguientes motivos:

- Eliminación de nutrientes (N y P) para evitar la eutrofización de embalses.

Para el P se diseñan tanto sistema de precipitación como de precipitación simultánea además de una filtración terciaria con adición de reactivos en los últimos años se están desarrollando procesos de tipo biológico para su reducción y evitar en lo posible el uso de reactivos químicos.

- Eliminación de compuestos nitrogenados para mejorar las condiciones de los ríos, sobre todo cuando los objetivos de calidad así lo exijan (casos de ríos salmónidos, etc.). También se pueden prever etapas de desnitrificación en aquellas instalaciones donde se espera la nitrificación por las condiciones de temperatura del agua. Con la inclusión de esta etapa se consigue una mejor calidad (sobre todo en lo que se refiere a los sólidos) del efluente en la salida de la clarificación final.
- Tratamientos físico-químicos para la reducción de cargas excepcionales de tipo puntual o estacional, como ya se comentó anteriormente, y también para la eliminación de compuestos que provienen de vertidos industriales pudieran perjudicar el funcionamiento del sistema biológico.
- En algunas instalaciones de depuración se puede prever una etapa de filtración para todo el caudal ó sólo parte del mismo bien para mejorar las condiciones del vertido, bien para su uso como agua industrial tanto dentro de la PTAR como fuera.

VERTIDO FINAL DEL EFLUENTE.

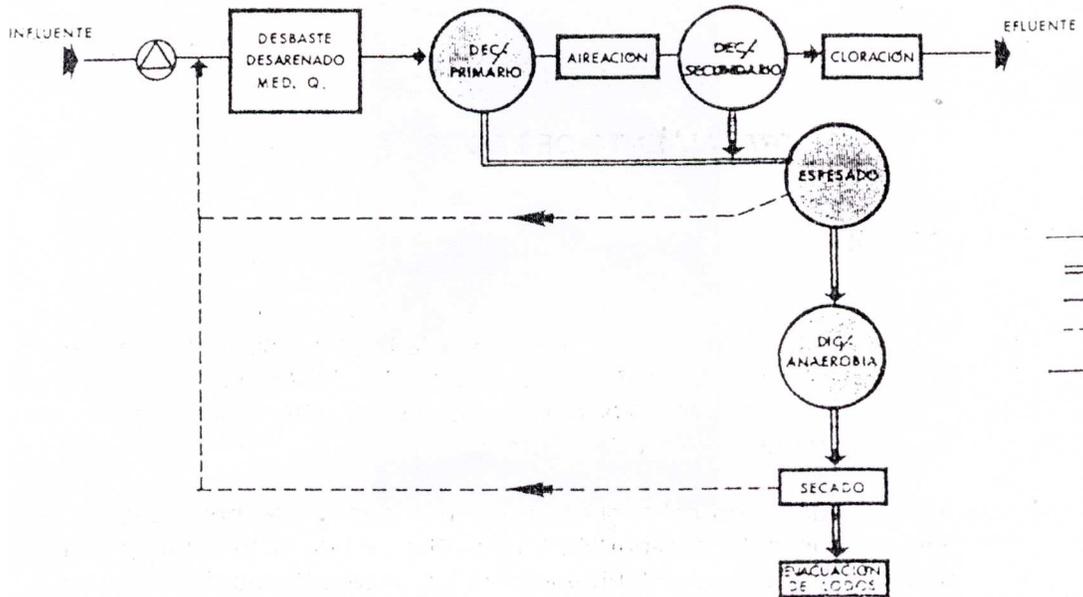
Una vez sometidas las aguas residuales a un tratamiento cuyo esquema básico se acaba de describir, el efluente será vertido a un cuerpo receptor (río, embalse, mar, etc.). Conviene, no obstante, hacer algunas consideraciones de interés:

- Los efluentes podrán sufrir o no una etapa complementaria de desinfección en función de los objetivos marcados. Se tendrá en cuenta que en un vertido directo a un río el cloro puede ser tóxico para la vida de los peces.

- Se tendrá especial cuidado con las espumas que se forman generalmente al disipar energía de forma brusca al existir un gran desnivel entre la salida de la PTAR y el punto de incorporación en el cuerpo receptor.
- Si el vertido se efectúa en el mar, a veces se plantea como alternativa la eliminación de las aguas residuales mediante un emisario submarino con ó sin pretratamiento previo. No obstante consideraciones del tipo ambiental así como la protección de áreas de baño, cría de moluscos, etc., obligan a reflexionar sobre si este procedimiento es el más adecuado. La directiva Comunitaria en este aspecto establece que para aglomeraciones urbanas entre 10.000 y 150.000 h-eq. y si el vertido se efectúa en una zona considerada “no sensible” podrá llevarse a cabo un tratamiento de tipo primario, y en el resto de los casos se obliga a implantar un sistema de depuración completo.
- Los efluentes tratados pueden asimismo ser reutilizados, sirviendo como recurso en aquellos casos en que se requiera una calidad del agua inferior y sobre todo en zonas donde la escasez de dichos recursos hídricos pudiera afectar al desarrollo de las mismas. El riego agrícola, de parques y jardines, usos de tipo industrial, la recarga de acuíferos, etc., son ejemplos de recuperación de efluentes bastante habituales.

5.1.2 LINEA DE FANGOS.

Como ya se ha dicho anteriormente, la depuración de las aguas lleva consigo a la producción de un subproducto llamado fango.



Dentro de una instalación de tratamiento de aguas residuales urbanas se puede distinguir dos tipos de fangos, los llamados primarios, que son los sólidos sedimentados y evacuados en la decantación primaria y los fangos de exceso o biológicos, que son los producidos en el propio proceso biológico de tratamiento y que son evacuados del sistema en el decantador secundario. A continuación se describen de forma sucinta las distintas etapas por las que ha de pasar el fango en su tratamiento.

Espesamiento. El espesamiento consigue un incremento de la concentración de los fangos por eliminación de agua, reduciéndose así el volumen de los mismos y mejorando el rendimiento de los procesos posteriores. Los métodos de espesamiento más conocidos son el de gravedad y la flotación, siendo este último más apropiado para los fangos de procedencia biológica.

Estabilización. La estabilización consiste en la eliminación o destrucción acelerada y controlada de una parte o de la totalidad de la materia orgánica, y sobre todo de

aquella materia de evolución rápida, que de lo contrario, de forma natural y bajo la incidencia de microorganismos tanto aerobio como anaerobios, conducirán a la emisión de olores desagradables, mientras que el resto de las materias orgánicas, más complejas y estables, constituyen un humus, cuya descomposición es mucho más lenta y sin efecto detectable. Los procedimientos más usuales de estabilización son:

- Digestión anaerobia y aerobia, que consiguen la degradación de alrededor del 40 – 50% de la materia orgánica.
- Estabilización química por elevación del pH mediante la adición de cal.
- Otros sistemas de estabilización pueden ser, tratamiento térmico, pasteurización, esterilización por secado térmico, compostaje, etc.

Los sistemas, no obstante, más habituales de estabilización son la digestión aerobia y anaerobia.

La digestión aerobia es un proceso biológico en el que se obtiene la oxidación de las materias biodegradables contenidas en los fangos así como de la masa celular. En efecto, se basa en el principio de que cuando no existe alimento externo disponible, los microorganismos metabolizan su propia masa celular, fenómeno que se conoce como “respiración endógena”.

Así los digestores aerobios funcionan según el principio de aireación prolongada, en la modalidad de respiración endógena. Se trata pues de la aireación continua del fango, sin añadir más alimento que el propio fango, de tal manera que este siempre esté en la fase endógena. La aireación continúa hasta la destrucción de los sólidos volátiles en suspensión, de forma que el fango sea razonablemente estable, no origine molestias y se seque con rapidez.

En el proceso de digestión anaerobia, la materia orgánica, es convertida en metano y dióxido de carbono de dos etapas. En la primera, las bacterias formadoras de ácido transforman las proteínas, carbohidratos y grasas de diferentes ácidos grasos. En la segunda etapa las bacterias metánicas forman ácidos orgánicos y convierten éstos, principalmente, en dióxido de carbono y metano.

En una digestión con buen funcionamiento puede obtenerse un gas con un contenido en metano del orden de 65 – 75% y de CO₂ del 25 -35%, lo que puede ser aprovechado para la producción de energía eléctrica (motor de gas acoplado a un generador) y utilizable dentro de la propia depuradora. Así en grandes instalaciones puede recuperarse por este procedimiento hasta un 60% de la

energía, lo que obviamente significa un ahorro importante en los costos de explotación.

La estabilización química concebida como proceso de reducción de patógenos mediante mezcla con cal hasta alcanzar un cierto nivel de pH durante un tiempo mínimo, a veces se incluye como elemento complementario o de seguridad de otros sistemas (por ejemplo, en caso de incineración para prever paradas por fallo o mantenimiento).

Acondicionamiento. Es una fase previa preparatoria para una mayor eficacia de la fase posterior. En efecto, con el acondicionamiento se consigue una mejora en la deshidratación o espesamiento y, por tanto, se facilitará la eliminación del agua.

Deshidratación. Este proceso está encaminado a eliminar agua del fango para convertirlo en un sólido fácilmente transportable y manejable. De entre todos los posibles sistemas de deshidratación, los más importantes son: filtración por el vacío, filtración a presión, filtración a banda, centrifugación y lechos o eras de secado.

Generalmente se utilizan las eras de secado para las pequeñas instalaciones, ya que problemas derivados de condiciones climatológicas, disponibilidad de terreno, etc., aconsejan el uso de secado mecánico, aunque represente un mayor costo de operación en la mayor parte de las depuradoras.

Por lo que se refiere a los sistemas de secado mecánico, los más habituales son la filtración a banda y la centrifugación. Los sistemas de filtros prensa sólo se utilizan en casos concretos en que se requiere elevadas sequedades del fango ($\pm 40\%$) aunque, están apareciendo nuevas concepciones tanto de filtros banda como centrifugas que permiten pasar del 20 - 22% alcanzando generalmente hasta 30% aproximadamente.

5.1.3 DISPOSICIÓN FINAL.

Es uno de los graves problemas que se plantean cada vez más dentro de la concepción del diseño y gestión de las aguas residuales ya que incluso puede condicionar la propia tecnología de la planta.

La evacuación final de los fangos debe tener en cuenta no sólo condicionantes de tipo técnico-económico sino también de impacto ambiental.

Como alternativas a la disposición final pueden considerarse:

- Descarga en vertedero o relleno de tierras, que es el método más utilizado pero que a veces plantea problemas de espacio disponible, distancia de transporte, condiciones específicas del propio vertedero, etc.
- Vertido al mar mediante barco o emisario. Ha sido una práctica muy habitual en diversos países, que va reduciéndose cada vez más por consideraciones ambientales y como resultado de diversos Tratados y Reuniones Internacionales. La Directiva de depuración limita momentáneamente esta alternativa y establece que a partir del 31 de diciembre de 1998 se suprima progresivamente.
- Uso agrícola que es un método muy utilizado y que cada vez se desarrolla más dada la gran importancia de revalorizar un producto con contenido orgánico y nutrientes. Tiene la limitación de su distribución o comercialización así como los problemas derivados del contenido de metales y elementos patógenos.
- Incineración que es un buen sistema cuando se tiene importantes volúmenes de fangos a eliminar y no se tiene resuelto fácilmente cualquiera de los sistemas anteriores. Reduce enormemente la cantidad de residuos a manejar posteriormente (cenizas) si bien cuenta en la actualidad con una cierta contestación debido a posibles problemas de contaminación atmosférica. Debe por tanto preverse en el sistema los procesos adecuados de tratamiento y purificación de gases antes de ser enviados a la atmósfera, lo que lógicamente encarece esta alternativa.

Conclusiones y Recomendaciones para el aprovechamiento de aguas residuales

1. Las aguas residuales de los servicios municipales son un recurso valioso que debería emplearse siempre que fuera posible con las debidas medidas de protección sanitaria. Las ventajas de tal uso incluyen la consiguiente reducción de la contaminación ambiental así como el incremento de la producción acuícola y agrícola. Donde sea posible, el aprovechamiento de aguas residuales en agricultura y acuicultura debe ser el método preferido de evacuación de aguas residuales y debe ser parte integrante de la planificación del empleo de los recursos hídricos.
2. Al aprovechar las aguas residuales se puede proteger la salud con un conjunto integrado de medidas tales como tratamiento y técnicas apropiadas de

utilización de las mismas, restricción de cultivos y control de la exposición humana. La óptima combinación de medidas dependerá de las condiciones locales y los grupos específicos de personas que se deben proteger.

3. El uso de aguas residuales en estado bruto o mal tratadas, sin suficiente protección para la salud, se ha tolerado a menudo, en parte porque algunas normas y reglamentos procedentes han sido demasiado estrictos para poder cumplirlos en la práctica. Las autoridades de salud deben investigar las prácticas existentes de aprovechamiento de aguas residuales y hacer lo necesario para poner en práctica esas medidas.
4. Al seleccionar técnicas de tratamiento de aguas residuales para planes de aprovechamiento, la consideración primordial debe ser su capacidad de eliminar constantemente los microorganismos patógenos; cabe tener presente que es posible que los sistemas convencionales sean menos seguros en ese sentido. Deberán darse a conocer más ampliamente las ventajas especiales de los estanques de estabilización para establecer un proceso sencillo y estable de eliminación de microorganismos patógenos.
5. Para poder aplicar eficazmente las medidas de protección de la salud en relación con el aprovechamiento de aguas residuales se necesita la participación y cooperación de varios ministerios y entidades gubernamentales, cuyas actividades es preciso coordinar. Los gobiernos que deseen fomentar el aprovechamiento de aguas residuales en agricultura y acuicultura o reducir el riesgo que para la salud tienen las prácticas actuales verán que conviene comenzar haciendo arreglos de colaboración interinstitucional.
6. Los riesgos sanitarios que presentan las sustancias químicas tóxicas de las aguas residuales hacen necesario vigilar esta situación cuando esas aguas contienen cantidades considerables de efluentes industriales.
7. El uso en agricultura y acuicultura de lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales, excretas y estiércol, podría ser un recurso valioso si se pudieran evitar los efectos sanitarios adversos.

8. Las medidas de protección de la salud se deben vigilar y evaluar para garantizar su eficacia. Esa evaluación contribuirá a ratificar las directrices recomendadas y, en algunos casos, a atender las necesidades de investigación .

Tanto los países en desarrollo como los industrializados pueden beneficiarse del aprovechamiento de aguas residuales. En realidad, los países industrializados tienen mucho que aprender de las naciones en desarrollo en este sentido.

CONCLUSIONES GENERALES SOBRE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

- La planificación de la ordenación de vertidos en el marco de una cuenca hidrográfica toma cada vez un papel más relevante.
- Es importante tener muy en cuenta los factores locales, sobre todo en lo que a posibles impactos ambientales se refiere.
- Se reconoce generalmente que la decisión entre el tratamiento conjunto o separado de las aguas residuales municipales e industriales requieren un profundo análisis tanto desde el punto de vista técnico como económico, debiendo además considerarse aspectos tales como la variabilidad del caudal, topología de los vertidos industriales, influencia de ciertas sustancias tóxicas en los procesos de tratamiento, etc.
- La experiencia demuestra que la selección en la implantación de las instalaciones en lo referente a recogida, transporte y tratamiento de las aguas residuales y fangos es crucial para evitar influencias negativas en la salud pública y en el medio ambiente. Deben, en este ámbito, considerarse aspectos como presencia de insectos, ruidos, olores, etc.
- Los estudios a escala piloto son importantes para la aplicación de las nuevas tecnologías o la comprensión de problemas derivados de tecnologías ya conocidas y puestas en marcha.
- Se reconoce de forma general que debe aplicarse la mejor tecnología practicable para la recogida y tratamiento de las aguas residuales.
- El tratamiento biológico de las aguas residuales es el método preferido para el control de los vertidos a ríos, lagos y estuarios. Cabe destacar

que en el curso de los últimos años se ha empezado a implantar una variedad de nuevas tecnologías de tratamiento tales como la eliminación biológica de fósforo, tratamientos anaerobios, procesos de filtración, técnicas de membranas, nuevos sistemas de secado de fangos, etc.

- El actual estado de la tecnología permite una eficiente eliminación del carbono y nitrógeno y, en ciertas circunstancias favorables, de fósforo mediante procesos biológicos.
- El gran problema reside en la selección de la mejor combinación de procesos de tratamiento y su aplicación a escala industrial.
- Resulta esencial diseñar las instalaciones de forma flexible ya que a lo largo de su vida de funcionamiento los estándares de calidad del agua así como las prácticas de operación pueden sufrir alteraciones significativas.
- La gestión de un sistema de saneamiento debe hacer frente a la problemática derivada del incremento del volumen de fango y de elevadas concentraciones de tóxicos en ellos, habida cuenta de que es cada vez menor la posibilidad de depositar dichos residuos en los vertederos urbanos.
- La planificación de la ordenación de vertidos en el marco de una cuenca hidrográfica toma cada vez un papel más relevante.
- Es importante tener muy en cuenta los factores locales, sobre todo en lo que a posibles impactos ambientales se refiere.
- Se reconoce generalmente que la decisión entre el tratamiento conjunto o separado de las aguas residuales municipales e industriales requieren un profundo análisis tanto desde el punto de vista técnico como económico, debiendo además considerarse aspectos tales como la variabilidad del caudal, topología de los vertidos industriales, influencia de ciertas sustancias tóxicas en los procesos de tratamiento, etc.
- La experiencia demuestra que la selección en la implantación de las instalaciones en lo referente a recogida, transporte y tratamiento de las aguas residuales y fangos es crucial para evitar influencias negativas en la salud pública y en el medio ambiente. Deben, en este ámbito, considerarse aspectos como presencia de insectos, ruidos, olores, etc.

- Los estudios a escala piloto son importantes para la aplicación de las nuevas tecnologías o la comprensión de problemas derivados de tecnologías ya conocidas y puestas en marcha.
- Se reconoce de forma general que debe aplicarse la mejor tecnología practicable para la recogida y tratamiento de las aguas residuales.
- El tratamiento biológico de las aguas residuales es el método preferido para el control de los vertidos a ríos, lagos y estuarios. Cabe destacar que en el curso de los últimos años se ha empezado a implantar una variedad de nuevas tecnologías de tratamiento tales como la eliminación biológica de fósforo, tratamientos anaerobios, procesos de filtración, técnicas de membranas, nuevos sistemas de secado de fangos, etc.
- El actual estado de la tecnología permite una eficiente eliminación del carbono y nitrógeno y, en ciertas circunstancias favorables, de fósforo mediante procesos biológicos.
- El gran problema reside en la selección de la mejor combinación de procesos de tratamiento y su aplicación a escala industrial.
- Resulta esencial diseñar las instalaciones de forma flexible ya que a lo largo de su vida de funcionamiento los estándares de calidad del agua así como las prácticas de operación pueden sufrir alteraciones significativas.
- La gestión de un sistema de saneamiento debe hacer frente a la problemática derivada del incremento del volumen de fango y de elevadas concentraciones de tóxicos en ellos, habida cuenta de que es cada vez menor la posibilidad de depositar dichos residuos en los vertederos urbanos.