



UNIVERSIDAD VERACRUZANA

FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

Zona: Poza Rica -Tuxpan

“Contaminación del agua por descargas de aguas residuales”

TESINA

QUE PRESENTA:

Biol. Celia Isveidy Leyva Castellanos

PARA OBTENER EL GRADO DE:

**ESPECIALISTA EN GESTIÓN
E IMPACTO AMBIENTAL**

DIRECTORA

Dra. Marisela López Ortega






Universidad Veracruzana

UNIVERSIDAD VERACRUZANA
Facultad de Ciencias Biológicas y Agropecuarias
Especialización en Gestión e Impacto Ambiental



Universidad Veracruzana

Revisión del trabajo recepcional de la alumna: Celia Isveidy Leyva Castellanos

Nombre	Fecha	Fecha	Dictamen	Firma
<u>Rodrigo Cuervo Sánchez</u>		<u>25/6/13</u>	<u>aprobado</u>	
<u>Liliana Cuervo López</u>		<u>26/06/13</u>	<u>Aprobado</u>	
<u>Ma. Alejandra López Juárez</u>		<u>28/06/13</u>	<u>Aprobado</u>	

En la presente revisión se acordó que el trabajo recepcional denominado "Contaminación por descargas de aguas residuales" que presenta la sustentante para obtener el Título de Especialista, está terminado por lo que puede proceder a su inmediata impresión.

La presente Tesis titulada: “**Contaminación por descargas de aguas residuales**”, realizada por la C. Celia Isveidy Leyva Castellanos bajo la dirección de la DRA. MARISELA LÓPEZ ORTEGA ha sido revisada y aprobada como requisito parcial para obtener el grado de:

ESPECIALISTA EN GESTIÓN E IMPACTO AMBIENTAL



DRA. MARISELA LÓPEZ ORTEGA
DIRECTOR

Tuxpan de Rodríguez Cano, Ver. Junio 2013

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	5
2.1. Objetivo general	5
2.1.1. Objetivos específicos	5
3. DESARROLLO	6
4. RESULTADOS	7
4.1. El agua y su importancia	7
4.2. Distribución del agua en el mundo	8
4.3. Clasificación del agua	13
4.4. Calidad del agua	15
4.5. Contaminación del agua	18
4.6. Tipos de aguas residuales	19
4.7. Tratamiento de aguas residuales	25
4.8. Caudales y características de las aguas residuales	26
4.9. Proceso de tratamiento de aguas residuales	34
4.10. El pretratamiento de aguas residuales	45

4.11. Tratamiento primario	45
4.12. Tratamiento secundario	49
4.13. Sistemas de fangos activos	55
4.14. Sistemas de cultivos fijos	58
4.15. Eliminación de nutrientes	60
4.16. Decantación secundaria	65
4.17. Procesos de tratamientos avanzados	66
4.18. Desinfección del agua residual	69
4.18. Difusores para aguas residuales	70
5. CONCLUSIONES	77
6. BIBLIOGRAFÍA	80
ANEXOS	88
Anexos I	89

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Estándares mínimos de rendimiento para POTW en EE. UU. **27**

Cuadro 2. Clasificación de algunos parámetros del agua residual. **31**

Cuadro 3. Técnicas oficiales para el muestreo de aguas. **72**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Porcentaje de la población mundial con diferente disponibilidad de agua	9
Figura 2. Distribución porcentual del agua	10
Figura 3. Distribución del agua en el mundo	11
Figura 4. Clasificación de los sólidos en el agua residual urbana típica	32
Figura 5. Tipos de tratamientos de aguas residuales	35
Figura 6. Reja de desbaste circular	38
Figura 7. Tamiz tornillo, estático y rotativo	39
Figura 8. Deserenador y desengrasador	40
Figura 9. Desengrasado de aguas residuales	41
Figura 10. Decantación primaria	47
Figura 11. Vista de una planta tratadora con lodos activos	89
Figura 12. Ejemplo de lagunas aireadas	89
Figura 13. Digestión aerobia	90
Figura 14. Planta tratadora con filtros percolados	90
Figura 15. Tratamiento en base de biodiscos	91

Figura 16. Ejemplos de digestores en filtros anaerobios	91
Figura 17. Ejemplo de un reactor de lecho expandido	92
Figura 18. Plantas tratadoras por estanque o lagunaje	92
Figura 19. Laguna aerobia en el tratamiento de aguas negras	93
Figura 20. Tratamiento con lagunas facultativas	93
Figura 21. Lagunas de maduración	94
Figura 22. Decantación secundaria	94
Figura 23. Proceso de eliminación de nitrógeno	95
Figura 24. Curva de la demanda de cloro	95

I. INTRODUCCION

El agua se está convirtiendo para muchas regiones del mundo, en un factor limitante para la salud humana, la producción de alimentos, el desarrollo industrial y el mantenimiento de los ecosistemas naturales y su biodiversidad, e incluso para la estabilidad social y política.

A pesar de que el 70% de la superficie del planeta está compuesta por agua, 97.5% de ésta es salina (cerca de 1,400 millones de km³), contenida principalmente en los océanos y sólo el 2.5% es agua dulce (alrededor de 35 millones de km³). De ésta, 68.9% se encuentra congelada (en bancos de hielo, glaciares y nieves perpetuas) y en la humedad del suelo, 30.8% se almacena en aguas subterráneas, y poco menos de 0.3% es agua superficial localizada en lagos, lagunas, ríos y humedales (PNUMA, 2004; Shiklomanov y Rodda, 2003). Menos de 1% del agua dulce del mundo (cerca de 200, 000 km³ entre superficial y subterránea) está disponible para el uso humano y el mantenimiento de los ecosistemas naturales (PNUMA, 2004).

La distribución natural del agua es muy desigual en las distintas regiones del planeta y según la época del año. En el continente americano se concentra el 47% del agua mundial, seguido por Asia (32%), Europa (7%), África (9%), Australia y Oceanía 6% (Carabias *et al.*, 2005).

Para finales del año 2004 se estimó que la población mundial era de 6 377 millones de personas asentadas de manera desigual (FPNU, 2004). Entre los países de mayor disponibilidad natural se encuentra Canadá, con 99 700 m³/hab/año, mientras que India cuenta sólo con 2 300 m³/hab/año (Fig. 1.). En México, la disponibilidad natural de agua estimada para el año 2004 fue de 4 500 m³/hab/año (Carabias *et al.*, 2005).

México cuenta con 11 122 km de litoral, 15 000 km² de lagunas costeras y 29 000 km² de cuerpos de agua interiores que forman una gran variedad de ecosistemas acuáticos (CNA, 2001). La mayor parte de los recursos hídricos epicontinentales de México se localiza en ríos (68.2%), seguida por presas (17.8%), acuíferos (11.7%), lagos y lagunas (2.3%) (Arriaga *et al.*, 2000).

Del total de agua naturalmente disponible en México, se estima que en el año 2002 se extrajeron de ríos, lagos y acuíferos del país alrededor de 72.6 km³ para los principales usos. Los cuales se dividen en consuntivos y no consuntivos. Los consuntivos son aquéllos en los que el agua es transportada a su lugar de uso y la totalidad, o parte de ella, no regresa al cuerpo de agua. En los usos consuntivos una porción del agua se evapora o transpira, o es incorporada a los productos o cosechas, utilizada para el consumo humano o del ganado, o retirada de otra forma del ambiente acuático inmediato, por lo que una parte no vuelve a la corriente o a las aguas subterráneas justo después de ser usada.

Los usos no consuntivos son aquéllos en los que el agua se utiliza en el mismo cuerpo de agua o con un desvío mínimo, por lo que regresa al entorno inmediatamente después de haberse utilizado, aprovechado o explotado, aunque, en ocasiones, regrese con cambios en sus características físicas, químicas o biológicas. La generación de energía eléctrica es el principal uso no consuntivo, además de ser recreativo o turístico y la acuacultura (Ley de Aguas Nacionales, 2010).

En México, el uso agropecuario representa el 77% de la extracción (56.1 km³), seguido por el abastecimiento público con 13% (9.6 km³) y la industria autoabastecida con 10% (7.3 km³) (CNA, 2004).

De acuerdo con Carabias *et al.* (2005) el uso consultivo del agua para Veracruz queda de la siguiente manera: Agrícola (2628.6 h/m³), Abastecimiento público (568.6 h/m³), Industrial (1152.0 h/m³) y Energía eléctrica (370.5 h/m³).

Sin embargo, en México los problemas de calidad del agua son severos y tienen un fuerte rezago en su atención comparados con los relativos a la cantidad y a la provisión de servicios a la población. Si bien, es cierto que las aguas subterráneas suelen ser más difíciles de contaminar que las superficiales, cuando esta contaminación se produce, es más difícil y costosa de eliminar (CONAGUA, 2000).

Como la calidad del agua depende del uso que se le dé, resulta complicado definir una forma única de medir su calidad. En general se puede hablar de dos métodos:

los que utilizan como referencia parámetros fisicoquímicos, y los que emplean algunos atributos biológicos como especies indicadoras o características de los ecosistemas naturales que permiten evaluar que tan alterado se encuentra un cuerpo de agua. Los métodos más utilizados, principalmente por su facilidad y su aplicación, son los basados en parámetros físicos y químicos como, por ejemplo, la concentración de oxígeno disuelto, la concentración de compuestos con nitrógeno fósforo (como los nitratos y los fosfatos) y el contenido de materiales tóxicos como los metales pesados.

En los países en desarrollo se da tratamiento a menos del 10% del agua; y en México cerca del 23% de sus aguas residuales, considerando los dos tipos de descarga: municipales e industriales. Los datos son que en nuestro país se generan al año 8.03 km³ de agua residual proveniente de las ciudades y 5.62 km³ de agua de otras fuentes, principalmente las desechadas por la industria. De este enorme caudal, sólo tratamos 36% de las aguas residuales municipales y 15% de las industriales (CONAGUA, 2007). La finalidad de esta investigación es contribuir a proporcionar información sobre los contaminantes que son vertidos principalmente a los cuerpos de agua.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

- ❖ Elaborar un estudio descriptivo de la contaminación del agua causada por aguas residuales.

2.1.1. Objetivos específicos

- ❖ Realizar una investigación sobre la contaminación del agua.
- ❖ Describir los métodos para la medición de la calidad del agua.
- ❖ Enlistar las normas oficiales utilizadas para medir la calidad del agua.

3. DESARROLLO

Se realizó una revisión bibliográfica que abordó todo lo relacionado con la contaminación de aguas residuales, mediante la recopilación y análisis de información documental, que permitió integrar material para la elaboración de un estudio descriptivo de la contaminación de aguas residuales.

Así mismo se llevó acabo la búsqueda en libros y revistas científicas, con la finalidad de obtener resultados para la investigación realizada y en memorias, monografías, normatividad aplicable y en buscadores de Internet.

Posteriormente se realizó una visita a Instituciones Educativas para recopilar toda la información relacionada con la problemática y los métodos utilizados para medir las aguas residuales, información que posee la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), Comisión de Aguas de Veracruz (CAEV) y otras dependencias relacionadas con esta problemática.

4. RESULTADOS

4.1. EL AGUA Y SU IMPORTANCIA

El agua es un compuesto cuya molécula está formada por dos átomos de hidrogeno y uno de oxígeno, es una sustancia química que tiene propiedades muy peculiares, una de ellas es su gran poder de disolver y se le ha llamado " El solvente universal ", es por ello que casi nunca se encuentra un agua "Pura".

El agua es un elemento de la naturaleza, integrante de los ecosistemas naturales, fundamental para el sostenimiento y la reproducción de la vida en el planeta ya que constituye un factor indispensable para el desarrollo de los procesos biológicos que la hacen posible (Monge, 2004).

El agua es algo muy valioso, necesitada cada vez en forma creciente, pero no disponible de forma ilimitada. Su demanda en servicios y en la industria, para agua potable y agua de uso industrial demuestra una tendencia ascendente. En el campo de la protección ambiental, el número de lugares en que la contaminación del agua o agua residual debe analizarse, crece también sin parar. Virtualmente todos los sectores que hacen uso del agua, están obligados a controlar la cantidad y naturaleza de las impurezas del agua dentro de límites bien definidos (SEP, 2005).

Los ríos, lagos, laguna y humedales son una fuente importante del agua dulce, sin embargo, son los acuíferos subterráneos los que aportan hasta el 98% de las fuentes de agua dulce accesibles al uso humano, ya que se estima que representan el 50% del total de agua potable en el mundo (Rodríguez, 2003).

Este recurso encuentra su auto-reproducción en el denominado ciclo del agua, lo que hace del agua un elemento renovable, sin embargo el abuso de éste puede generar que la reproducción natural a la que está sujeta se vea interrumpida y se convierta así, en un recurso natural limitado y vulnerable.

Asimismo, el agua contribuye a la estabilidad del funcionamiento del entorno y de los seres y organismos que en él habitan, es por tanto, un elemento indispensable para la subsistencia de la vida animal y vegetal del planeta. Es decir, que el agua es un bien de primera necesidad para los seres vivos y un elemento natural imprescindible en la configuración de los sistemas medioambientales.

4.2. DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN EL MUNDO

El total del agua de la tierra es una cantidad fija: el planeta es el hogar de 1386 millones de km³ de agua. Sin embargo, de este volumen sólo una muy pequeña cantidad, el 2.5%, es agua dulce; el otro 97.5% es agua salada. De esta pequeña fracción de agua que es considerada dulce (35 millones de km³), menos de un tercio, está técnicamente disponible para la humanidad. Lo que es considerado

técnicamente como agua dulce no disponible, el equivalente al 69.5% del agua dulce total, se encuentra en glaciares, nieve, hielo y permahielo. Esto deja casi 11 millones de km³ de agua dulce disponible para las actividades humanas. Tomando la población mundial como de 6000 millones de personas, cae suficiente agua lluvia para proveer, en promedio, 7000 m³ de agua dulce por año. Esto es más que suficiente para la mayoría de las necesidades; sin embargo, la lluvia no cae equitativamente, ni todas las personas tienen la libertad de moverse hacia áreas donde abunde el agua. Por lo tanto existen áreas y poblaciones con problemas de escasez de agua. Sólo un tercio de la población mundial tiene un suministro de agua suficiente o abundante; otro tercio de la población tiene agua insuficiente, mientras que un cuarto de ella está en una situación de estrés hídrico (Fig. 1).

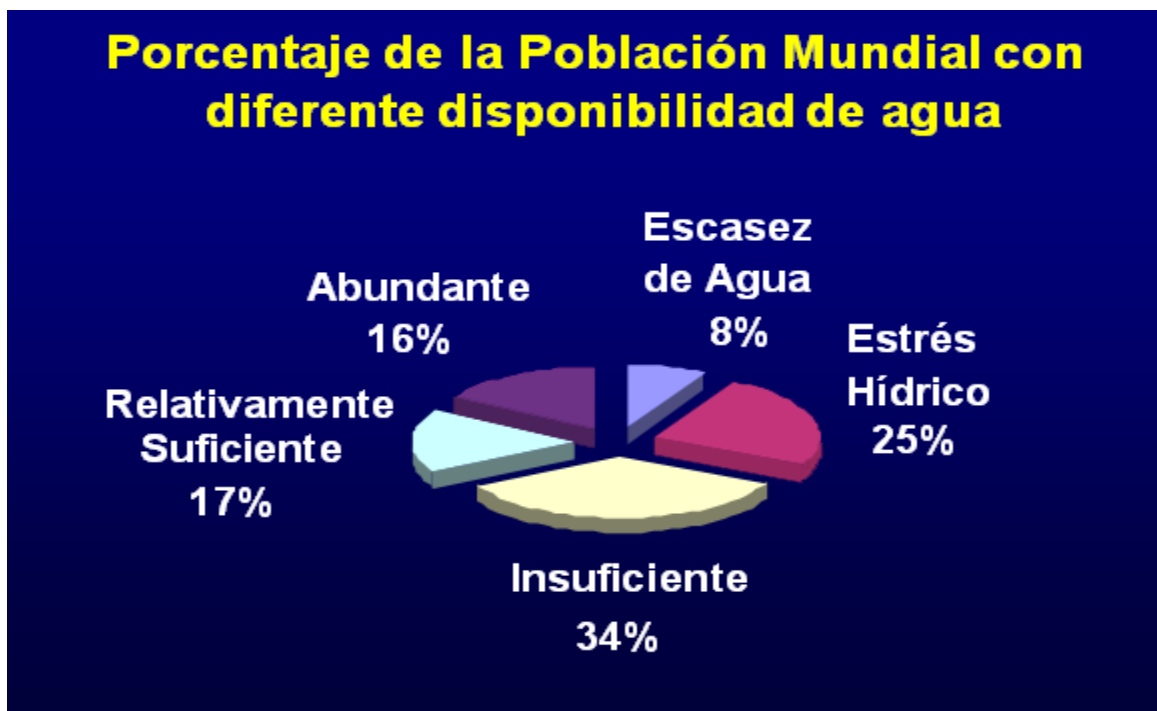


Figura 1. Porcentaje de la población mundial con diferente disponibilidad de agua (Clarke y King, 2004).

Como se puede observar en el gráfico, el océano es el origen de la mayor parte de las precipitaciones del planeta, pero la lluvia sobre tierra satisface casi todas las necesidades de agua dulce de las poblaciones (Fig. 2).



Figura 2. Distribución porcentual del agua (Tomado de Carabias, 2005).

La cantidad de agua disponible en nuestro país se calcula como la diferencia del agua que entra a todo nuestro territorio principalmente a través de la lluvia y las salidas, que en este caso son principalmente por la transpiración de las plantas y la evaporación directa de los cuerpos de agua y el suelo. Según el Servicio Meteorológico Nacional, el país recibe en promedio cada año unos 1 511 km³ de

agua, que expresado en la forma en que se mide la cantidad de lluvia equivaldrían a 772 mm (Fig. 3) (CONAGUA, 2005).



Figura 3. Distribución de agua en el mundo (Tomado de UNESCO).

4.3. CLASIFICACIÓN DEL AGUA

El agua es empleada de diversas formas, prácticamente en todas las actividades humanas, ya sea para subsistir o para producir bienes y servicios. Normalmente el

agua se clasifica según su origen y las sustancias que tiene en solución: (SEP, 2005).

Clasificación del agua según su origen:

Agua superficial: Dado que el agua es un recurso vital para la supervivencia humana y juega un papel preponderante en todas sus actividades; se considera de utilidad, en cuanto a las aguas superficiales, conocer continuamente la disponibilidad de volúmenes almacenados en las principales presas del país, que se utilizan para riego, agua potable, generación de energía eléctrica y otros usos; así como, saber los gastos que circulan por los ríos más importantes del territorio nacional. Asimismo, la disponibilidad del recurso también se encuentra relacionada con la calidad del mismo, para con ello asegurar que el agua sea adecuada para el uso al que se quiera destinar.

Agua de río: Se trata de una corriente natural de agua continua que desemboca en otra similar, en un lago o en el mar. Cuando un río desemboca en otro, se lo conoce como afluente. Cada río posee un cierto caudal, que no suele ser constante a lo largo del año. En los períodos con mayor cantidad de precipitaciones, el caudal aumenta. En cambio, cuando llueve poco o se experimentan elevadas temperatura, el caudal descende e, incluso, en situaciones extremas el río puede secarse.

Agua de pozo: Los pozos suelen tener forma cilíndrica y las paredes aseguradas con cemento, piedra o madera para evitar los derrumbes. Los pozos que se realizan para buscar agua se caracterizan por la construcción de paredes que sobresalen del nivel del suelo (para evitar que la gente caiga en su interior), la presencia de una polea (para subir el cubo con agua) y la utilización de tapas (para que la suciedad no ingrese al pozo). El agua de pozo es un agua que transcurre entre dos capas geológicas más o menos profundas y que se obtiene por medio de un pozo, en donde se acumula.

Agua de lagos y lagunas: Los lagos y lagunas son depresiones en la superficie terrestre que contienen aguas estancadas, drenadas en muchos casos por ríos. Su profundidad puede ir desde 1 a 2000 m y su tamaño puede oscilar desde menos de una hectárea en las pequeñas lagunas hasta los miles de km² de los grandes lagos que se pueden asemejar incluso a los ecosistemas marinos.

Agua de mar: El agua de mar, por definición, es una solución acuosa en la que se encuentran disueltos una amplia variedad de sólidos (sales principalmente) y gases atmosféricos, sumándose a estos materiales sólidos suspendidos del tipo orgánico e inorgánico. Junto con los anteriores, forman parte también de esta solución acuosa algunos organismos microscópicos vivos vegetales conocidos como fitoplancton y animales (zooplancton), los que junto con poblarla, participan de su composición actuando sobre las concentraciones de las sustancias disueltas o suspendidas.

Agua de lluvia: Es la precipitación de partículas líquidas de agua, de diámetro mayor de 0,5 mm o de gotas menores, pero muy dispersas. Si no alcanza la superficie terrestre, no sería lluvia sino virga y si el diámetro es menor sería llovizna.¹ La lluvia se mide en milímetros al año, menos de 200 son pocas, entre 200 y 500 son escasas, entre 500 y 1.000 son normales, entre 1.000 y 2.000 son abundantes y más de 2.000 son muchas. La lluvia depende de tres factores: la presión atmosférica, la temperatura y, especialmente, la humedad atmosférica.

Agua destilada: Es aquella cuya composición se basa en la unidad de moléculas de H₂O. Es aquella a la que se le han eliminado las impurezas e iones mediante destilación. La destilación es un método en desuso para la producción de agua pura a nivel industrial. Esta consiste en separar los componentes líquidos de una mezcla.

Agua purificada: El Agua Pura se llama así precisamente porque está limpia de impurezas como restos orgánicos y desechos sólidos, principalmente metales y minerales. Dado que el agua pura está libre de impurezas tiene un poder natural para desincrustar la suciedad y proteger contra la contaminación gracias a sus propiedades humectantes. Es muy difícil encontrar agua pura en estado natural en el mundo, por lo cual se han ideado diversos sistemas para transformar el agua natural en agua pura. Hay algunas resinas disponibles pero son todavía muy caras y contaminantes puesto que se deben reemplazar constantemente y se deben incinerar. El fenómeno de la ósmosis inversa es un sistema natural que utiliza nuestro cuerpo para filtrar células humanas para dejar pasar los nutrimentos y

rechazar las toxinas acumuladas. Cada una de ellas tiene en forma disuelta, suspendida o coloidal, diversas sales minerales y gases en cantidades variables dependiendo de dónde procedan.

El agua se clasifica también según el uso que se le da:

- ❖ Agua de uso doméstico
- ❖ Agua para uso industrial
- ❖ Agua para análisis químicos
- ❖ Agua para aplicaciones biológicas (libre de pirógenos)
- ❖ Agua de uso recreativo y estético
- ❖ Agua para uso acuícola
- ❖ Agua para uso agrícola

En el Registro Público de Derechos del Agua (REPDA), tiene clasificados los usos del agua en 12 rubros mismos que para fines prácticos se han agrupado en cinco grandes grupos; cuatro de ellos corresponden a usos consuntivos, es decir el agrícola, el abastecimiento público, la industria autoabastecida y las termoeléctricas, y por último el hidroeléctrico, que se contabiliza aparte por corresponder a un uso no consuntivo (CONAGUA y REPDA, 2010).

4.4. CALIDAD DEL AGUA

La calidad del agua no es un criterio absoluto sino que dependiendo del uso que se le pretenda dar, se puede calificar como de buena o mala calidad. Independientemente de su uso, la calidad del agua radica principalmente en los materiales y sustancias que lleva disueltos o en suspensión y los organismos que ahí se encuentran. Esto significa que para determinar la calidad del agua se necesita conocer algunas características que afectan su posible uso como, por ejemplo el oxígeno disuelto, la cantidad de partículas suspendidas, la cantidad y tipo de sales disueltas, la presencia y concentración de compuestos tóxicos, las bacterias y otros tipos de microorganismos (CONAGUA, 2005).

Cuando el agua contiene materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales o domésticos que alteran sus características naturales se dice que está contaminada (CONAGUA, 2005).

La calidad del agua para ser evaluada en general se puede hablar de dos métodos: la que se utiliza como referencia en parámetros fisicoquímicos, y los que emplean algunos atributos biológicos como especies indicadoras o características de los ecosistemas naturales que permiten evaluar que tan alterado se encuentra un cuerpo de agua (CONAGUA, 2005).

Los métodos más utilizados, principalmente por su facilidad y su aplicación más general son los basados en parámetros físicos y químicos como, por ejemplo, la concentración de oxígeno disuelto, la concentración de compuestos con nitrógeno y fósforo (como los nitratos y los fosfatos) y el contenido de materiales tóxicos

como los metales pesados. De uso más reciente son los llamados indicadores biológicos que utilizan ya sea especies individuales o bien comunidades completas, bajo la premisa de que los indicadores biológicos como los peces, invertebrados, algas y protozoarios son capaces de detectar y responder a los cambios de diversas variables ambientales no sólo químicas, que resultan en la degradación de los recursos acuáticos (Cemda, 2006).

En México la evaluación de la calidad del agua se realiza por medio de la Red Nacional de Monitoreo (RNM), que cuenta con 620 estaciones en ríos, lagos, lagunas costeras y acuíferos. En cada estación se cuantifican parámetros fisicoquímicos y biológicos que sirven para evaluar la calidad del agua. Los tres indicadores más utilizados son: la concentración de coliformes fecales, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y la concentración de fosfatos y de nitratos, ya que todos ellos están relacionados con las principales fuentes de contaminación de las aguas en nuestro país. Un factor muy importante para la calidad del agua son las descargas de aguas residuales utilizadas para las labores de limpieza y servicios sanitarios provenientes de las áreas urbanas y rurales. El indicador de contaminación asociado a estas descargas es la presencia de un grupo de bacterias conocidas como coliformes. Las coliformes se introducen en gran número al medio ambiente a través de las heces de humanos y animales, por tal motivo suele considerarse que la mayoría de las coliformes que se encuentran en el ambiente son de origen fecal (CONAGUA, 2005).

4.5. CONTAMINACIÓN DEL AGUA

La contaminación son aquellos desechos u otras materias que se vierten a los cuerpos de agua, directa o indirectamente de las actividades humanas, que tenga o pueda tener efectos perjudiciales tales como causar daño a los recursos vivos y a los ecosistemas marinos, así como entrañar peligros a la salud del hombre.

El fenómeno de la contaminación del agua no es nuevo pues ha acompañado a los hombres en toda su historia. Sin embargo, el deterioro más severo y extendido de los ríos y lagos del mundo se ha dado a partir del siglo XVIII con el inicio de la revolución industrial y la implantación de una variedad de procesos de transformación que empleaban grandes volúmenes de agua y en consecuencia, también generaban enormes cantidades de agua de desecho que contaminaba los ríos y lagos donde se vertía. En ese entonces la prioridad era incrementar la producción y muy poca atención se le prestaba a los daños que ocasionaban al ambiente. Desde entonces se veía a los ríos y lagos como enormes depósitos donde se podían echar sin problema sus desechos ya que se los llevaba lejos (para el caso de los ríos) o bien, se diluían y descomponían de manera natural (CONAGUA, 2005).

Las fuentes de contaminación se clasifican en:

- ❖ Agrícola ganadero (tipo difusa, materia orgánica, nutrientes, microorganismos).
- ❖ Doméstico (aguas residuales, alimentos, basuras, jabones, biodegradable, tratamientos biológicos).
- ❖ Urbana (lluvia, aceites, materia orgánica, contaminantes de la atmósfera. pesticidas, abonos).
- ❖ Industrial (procesos, aguas de enfriamiento, sustancias tóxicas, iones metálicos, productos químicos, hidrocarburos, detergentes y pesticidas).

4.6. TIPOS DE AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales son aquellas que provienen del sistema de abastecimiento de agua de una población, después de haber sido modificadas por diversos usos en actividades domésticas, industriales y comunitarias (Mara, 1976).

Aguas residuales urbanas: Son aguas residuales domésticas o la mezcla de éstas con aguas residuales industriales o con aguas de escorrentía pluvial.

Características de las aguas residuales urbanas. Cada agua residual es única en sus características aunque en función del tamaño de la población, del sistema

de alcantarillado empleado, del grado de industrialización y de la incidencia de la pluviometría, pueden establecerse unos rangos de variación habituales, tanto para los caudales como para las características fisicoquímicas de estos vertidos.

El conocimiento de los caudales y características de las aguas residuales generadas en las aglomeraciones urbanas es básico para el correcto diseño de los sistemas de recogida, tratamiento y evacuación de las mismas.

Las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDAR), deben concebirse para poder hacer frente a las variaciones diarias de caudal y carga que experimentan estas aguas.

Procedencia y contaminantes de las aguas residuales urbanas. La procedencia de las aguas residuales urbanas y los principales contaminantes que estas aportan, son los siguientes:

- ❖ Aguas negras, procedentes del metabolismo humano: sólidos, materia orgánica, nutrientes, sales y organismos patógenos.

Principales contaminantes que aparecen en las aguas residuales urbanas, domésticas e industriales. Objetos gruesos: trozos de madera, trapos y plásticos, que son arrojados a la red de alcantarillado.

- ❖ *Arenas*: bajo esta denominación se engloban las arenas propiamente dichas, gravas y partículas más o menos grandes de origen mineral u orgánico.
- ❖ *Grasas y aceites*: sustancias que al no mezclarse con el agua permanecen en la superficie dando lugar a natas. Su procedencia puede ser tanto doméstica como Industrial.
- ❖ *Sólidos en suspensión*: partículas de pequeño tamaño y de naturaleza y procedencia muy variadas. Aproximadamente el 60% de los sólidos en suspensión son sedimentables y un 75% son de naturaleza orgánica.
- ❖ *Sustancias con requerimientos de oxígeno*: compuestos orgánicos e inorgánicos que se oxidan fácilmente, lo que provoca un consumo del oxígeno presente en el medio al que se vierten.
- ❖ *Nutrientes (nitrógeno y fósforo)*: su presencia en las aguas es debida principalmente a detergentes y fertilizantes. Igualmente, las excretas humanas aportan nitrógeno orgánico.
- ❖ *Agentes patógenos*: organismos (bacterias, protozoos, helmintos y virus), presentes en mayor o menor cantidad en las aguas residuales y que pueden producir o transmitir enfermedades.
- ❖ *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, productos de limpieza doméstica y productos farmacéuticos. A esta serie de compuestos se les conoce bajo la denominación genérica de contaminantes emergentes o prioritarios, no

eliminándose la mayoría de ellos en las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas.

En el tratamiento convencional de las aguas residuales urbanas, la reducción del contenido en los contaminantes descritos suele hacerse de forma secuencial y en el orden en que estos contaminantes se han enumerado anteriormente.

Parámetros empleados para caracterizar las aguas residuales urbanas, domésticas e industriales. Para caracterizar las aguas residuales se emplea un conjunto de parámetros que sirven para cuantificar los contaminantes definidos en el apartado anterior. Los parámetros de uso más habitual son los siguientes:

- ❖ *Aceites y grasas:* el contenido en aceites y grasas presentes en un agua residual se determina mediante su extracción previa, con un disolvente apropiado y la posterior evaporación del disolvente.
- ❖ *Sólidos en suspensión:* se denomina de este modo a la fracción de los sólidos totales que quedan retenidos por una membrana filtrante de un tamaño determinado (0,45 μm). Dentro de los sólidos en suspensión se encuentran los sólidos sedimentables y los no sedimentables.
- ❖ *Sustancias con requerimiento de oxígeno:* para la cuantificación de estas sustancias los dos parámetros más utilizados son:
- ❖ *Demanda Bioquímica de Oxígeno a los 5 días (DBO):* es la cantidad equivalente de oxígeno (mg/l) necesaria para oxidar biológicamente los componentes de las aguas residuales. En el transcurso de los cinco días de

duración del ensayo se consume aproximadamente el 70% de las sustancias biodegradables.

- ❖ *Demanda Química de Oxígeno (DQO)*: es la cantidad equivalente de oxígeno (mg/l) necesaria para oxidar los componentes orgánicos del agua utilizando agentes químicos oxidantes.

La relación DBO5/DQO indica la biodegradabilidad de las aguas residuales urbanas: $\geq 0,4$ Aguas muy biodegradables, $0,2 - 0,4$ Aguas biodegradables, $\leq 0,2$ Aguas poco biodegradables (Manual de depuración de aguas residuales urbanas):

- ❖ *Nitrógeno*: se presenta en las aguas residuales en forma de nitrógeno orgánico, amoníaco y, en menor cantidad, de nitratos y nitritos. Para su cuantificación se recurre generalmente a métodos espectrofotométricos.
- ❖ *Fósforo*: en las aguas residuales aparece principalmente como fosfatos orgánicos y polifosfatos. Al igual que las distintas formas nitrogenadas, su determinación se realiza mediante métodos espectrofotométricos.
- ❖ *Organismos patógenos*: los organismos patógenos se encuentran en las aguas residuales en muy pequeñas cantidades siendo muy difícil su aislamiento, por ello, se emplean habitualmente los coliformes como organismos indicadores.

Aguas residuales domésticas: Las aguas residuales procedentes de zonas de vivienda y de servicios, generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas.

Características de las aguas residuales domésticas. Las aguas residuales domésticas provienen de áreas residenciales y de actividades de tipo doméstico, de establecimientos comerciales y de instituciones tales como hospitales, escuelas, universidades y edificios. Estas se originan básicamente en la cocina, baños y lavandería.

Procedencia y contaminantes de las aguas domésticas. Las aguas residuales domésticas están constituidas a su vez por:

- ❖ Aguas de cocina: sólidos, materia orgánica, grasas y sales.
- ❖ Aguas de lavadoras: detergentes y nutrientes.
- ❖ Aguas de baño: jabones, geles y champús.

Aguas residuales industriales: Todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial.

Características de las aguas residuales industriales. Mientras que las aguas residuales industriales las constituyen los desechos líquidos provenientes de una fábrica o empresa que produce cualquier clase de material o artículo sometido a oferta y demanda en el mercado y son diferentes de las aguas de suministros utilizadas por el establecimiento en sus procesos de producción.

Procedencia y contaminantes de las aguas residuales industriales.

Resultantes de actividades industriales que descargan sus vertidos a la red de alcantarillado municipal. Estas aguas presentan una composición muy variable dependiendo de cada tipo de industria.

De los tres posibles componentes de las aguas residuales:

- ❖ Las aguas residuales domésticas siempre estarán presentes.
- ❖ La incidencia de las aguas residuales industriales dependerá del grado de industrialización de la aglomeración urbana y de la cantidad y características de los vertidos que las industrias realicen a la red de colectores municipales.
- ❖ Las aguas de escorrentía pluvial tienen su influencia en las aglomeraciones con redes de saneamiento unitarias (lo más frecuente) y en los momentos en que se registren lluvias.

4. 7. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES

El tratamiento de aguas residuales, también conocido como proceso de depuración, es un sistema utilizado para remover contaminantes del agua. Eventualmente el agua usada se descontamina a través de medios naturales, pero eso requiere mucho tiempo, en una planta de tratamientos se acelera ese proceso.

Así se puede reutilizar el agua en actividades diversas como la agricultura, la industria y la recreación.

Al remover contaminantes del agua se está en cierta forma, defendiéndola del ataque de muchas bacterias y productos químicos. Existe varios niveles de defensa: los pretratamientos, tratamiento primario, secundario, avanzado y varios tratamientos especiales que se pueden utilizar después de todos ellos.

El proceso de defensa o saneamiento inicia desde el momento en que el agua potable es utilizada y arrojada al drenaje, esa red de drenaje se convierte en la columna vertebral para la captación y transporte de aguas negras o residuales.

4.8. CAUDALES Y CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Dependiendo del país, se han elaborado dos políticas distintas en cuanto a la depuración de las aguas residuales. Una, en que las aguas residuales urbanas se tratan independientemente de las aguas industriales, como es el caso de Irlanda. La otra, en que se combinan tanto las aguas residuales urbanas como las industriales para su tratamiento, como ocurre con más frecuencia en el Reino Unido. En muchos países se adopta una combinación de ambas políticas (Kiely, 1999).

El grado de tratamiento requerido para un agua residual depende fundamentalmente de los límites de vertido para el efluente (Cuadro 1).

Cuadro 1. Estándares mínimos de rendimiento para POTW en EE. UU.

Parámetro	Media de siete días	
	Tratamiento secundario de fangos activos	Filtros percoladores y cubas de estabilización
DBO5	40-45 mg/l	60-65 mg/l
SS	45 mg/l	65 mg/l
Toxicidad total efluente (TTE)	6-9	6-9
Coliformes fecales (NMP/100ml)	Específico del lugar 400	Específico del lugar 400

Caudales de aguas residuales domésticas. Las redes de alcantarillado son de tres tipos:

- ❖ *Redes de alcantarillado comparativas:* que transportan únicamente agua residual.
- ❖ *Redes de alcantarillado combinadas:* que transportan agua residual más agua de lluvia.

- ❖ *Redes de alcantarillado parcialmente combinada:* El objetivo en el diseño de sistemas nuevos es el de instalar redes de alcantarillados separativas ya que esto conduce a que en las plantas depuradoras se traten cantidades mínimas de agua. Sin embargo, las redes existentes normalmente son combinadas o parcialmente combinadas. Es tarea de diseño la de descargar del agua de lluvia un exceso en un episodio de tormenta, por medio de aliviadores de agua a los ríos, de manera de que las plantas de tratamiento no se sobrecarguen con estas aguas limpias.

Los componentes del caudal de agua residual son:

- ❖ Aguas residuales procedentes de hogares y comercios.
- ❖ Infiltraciones de agua residual que contaminan las tuberías de las redes de alcantarillado procedentes de las aguas subterráneas y otras fuentes como las galerías.
- ❖ Agua procedente de escorrentías de lluvia.

Aguas residuales procedentes de viviendas y establecimientos comerciales. Los caudales de agua residual se empeñan en el diseño hidráulico y así mismo en el diseño del proceso de una planta depuradora. Sin embargo, es fácil sobredimensionar una planta depuradora en base a la hidráulica y así evitar problemas de sobrecarga hidráulica. De todas maneras, este mismo sobre dimensionado hidráulico puede dar lugar aún proceso ineficaz operativamente, que deja de ser viable. En el tratamiento biológico secundario de la planta puede sobrevenir un paro de la planta debido a insuficiencias en la cantidad de sustrato

de alimentos para los microorganismos. Es obligado que el diseño del proceso sea realista de manera que los microorganismos operen en sus condiciones óptimas produciendo la degradación óptima de los compuestos orgánicos en el agua residual.

Aguas de infiltración y exfiltración. Los valores de caudales de aporte en las redes de alcantarillado debido a aguas subterráneas son específicos de cada lugar. En el diseño de nuevas plantas, utilizando redes de saneamiento existentes, es posible determinar las tasas de infiltración y exfiltración con el estudio de varias de las líneas de estas redes. Algunos valores sugeridos para la infiltración en líneas de redes más nuevas rondan los 10 m³/ha/día para zonas con redes de menor de 50 ha (Metcalf y Eddy, 1991).

Aguas de escorrentías de lluvias. Se basa en un análisis estadístico y debe emplearse únicamente como primera aproximación. Ahora es aconsejable emplear un análisis dinámico para un análisis eficiente y detallado de las redes de alcantarillado y de la hidráulica de las plantas depuradoras. Tradicionalmente se tomaban para las escorrentías de lluvia unos caudales relacionados con los CCS, de manera que una tormenta típica podría producir unos valores de escorrentía múltiplo de CCS., aumentándose con el período de retorno de la tormenta.

Como se mencionó anteriormente, realmente no es posible separar el análisis hidráulico del análisis del proceso en el diseño de una planta depuradora. Un atractivo de los paquetes informáticos disponibles hoy día es que se puede llevar a

cabo conjuntamente el análisis del proceso y el hidráulico. En los años 90 es importante reducir, donde sea posible, el volumen y carga contaminante que va a una depuradora. Las áreas que permiten consideración en los planes de conservación son:

- ❖ Regulación del consumo doméstico.
- ❖ Reducción de las pérdidas e infiltraciones.
- ❖ Uso de pavimentos porosos para la escorrentía de lluvia reduciéndose el componente de escorrentía al alcantarillado.

Características del agua residual doméstica. Las características del agua residual se pueden dividir en físicas, químicas y microbiológicas, como se muestra en el Cuadro 2, normalmente las aguas residuales domésticas no son tan complejas como las aguas residuales de tipo industrial, donde pueden existir determinados compuestos tóxicos y peligrosos, por ejemplo, fenoles y compuestos orgánicos tóxicos (Kiely, 1999).

Los parámetros no específicos como SS y DBO5 son de uso limitado. Para poder diseñar el proceso adecuado de tratamiento de aguas residuales, es necesario un conocimiento más detallado. Los sólidos se pueden subdividir a su vez tal y como se muestra en la Figura 4, utilizando los valores típicos de 225 l/h/día y 800 mg/l de concentración de sólidos totales.

Cuadro 2. Clasificación de algunos parámetros del agua residual.

Clase	Parámetro	
Físico	Sólidos totales	
	Sólidos totales en suspensión	
	Temperatura	
	pH	
	Color	
	Olor	
	Hidratos de carbono	
	Proteínas	
	Lípidos	
	Grasas, aceite	
DBO5, DQO, COT, DTO	} Orgánicos	
Químico		Alcalinidad
		Arenas
		Metales pesados
		Nutrientes N, P
		Cloruros
		Azufre
		Sulfato de hidrógeno
		Gases
Microbiológico		Bacterias
	Algas	
	Protozoos	
	Virus	
	Coliformes	

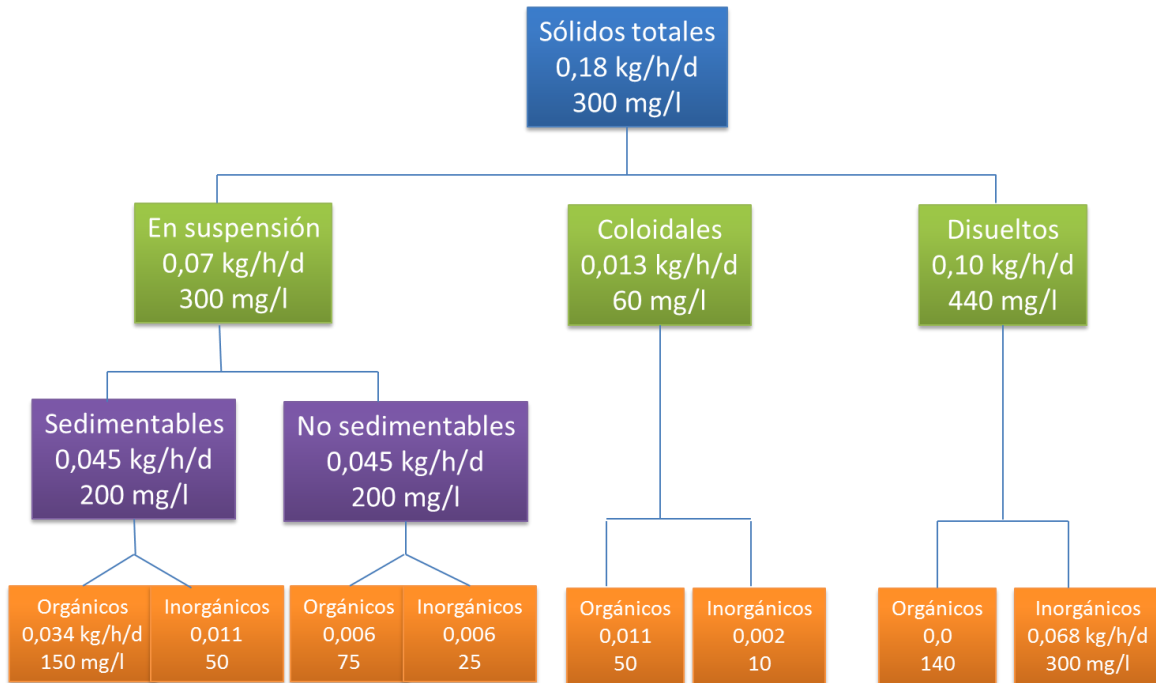


Figura 4. Clasificación de los sólidos en un agua residual urbana típica.

Los sólidos en suspensión componen alrededor de un 40% del total de los sólidos o una concentración de aproximadamente 350 mg/l. de esta cantidad unos 200 mg/l normalmente son sedimentables y pueden ser removidos por procesos físicos, es decir la sedimentación primaria separa alrededor del 60% de los sólidos en suspensión con los adecuados tiempos de retención. El proceso de tratamiento secundario más común es el biológico.

Caudales de aguas residuales industriales y sus características. Se pueden determinar caudales más precisos en la industria que utiliza procesos continuos que las que emplean procesos discontinuos o por lotes. Muchas industrias químicas y farmacéuticas operan con procesos discontinuos en períodos tan cortos como de una semana. En estos casos, no sólo se produce una variación de

los caudales al inicio de un nuevo proceso sino también de las cargas contaminantes. Cada industria es un caso particular, y se precisa una encuesta de residuos a efectos de determinar los caudales y la carga contaminante.

En complejos industriales, así como aguas residuales urbanas, se puede requerir la evaluación de las escorrentías de lluvia y las infiltraciones para poder acomodarlas en el tratamiento.

Características de las aguas residuales industriales. No es posible enumerar los tipos de residuos procedentes de todas las industrias debido a que muchos residuos son específicos y particulares de cada industria. Eckenfelder (1989) cita los siguientes componentes no deseables de los residuos y sus efectos negativos:

- ❖ Componentes orgánicos solubles Consume OD
- Sólidos en suspensión Consume totalmente el OD y libera gases indeseables.
- ❖ Trazas de compuestos orgánicos Afecta al sabor, olor y toxicidad
- ❖ Metales pesados Tóxicos
- ❖ Color y turbidez Afecta a la estética
- ❖ Nutrientes (N y P) Ocasiona eutrofización
- ❖ Sustancias Tóxicas a la vida acuática
 refractarias
 resistentes a la biodegradación
- ❖ Aceites y sustancias flotantes Repulsivo
 H₂S y otros COV originan

- ❖ Sustancias volátiles contaminación del aire

Los niveles de estos parámetros que se aceptan para vertidos tanto en arroyos como en ríos se regulan por medio de las directivas en el caso de la Unión Europea y las regulaciones de EPA en los Estados Unidos.

Balance de materia en las aguas residuales industriales. Debido a la especificidad de la mayoría de las industrias, los diagramas de flujo o los balances de materia de los caudales y características contaminantes se llevan a cabo con anterioridad al diseño de la planta de tratamiento. Esos estudios implican:

- ❖ Identificación de los distintos procesos desde su inicio y final
- ❖ Identificación de las líneas de vertidos líquidos
- ❖ Cuantificación de todas las líneas de vertido
- ❖ Determinación de la carga contaminante de todas las líneas de vertido
- ❖ Análisis de las cargas contaminantes en términos de los parámetros más convenientes para el tipo de vertido.

4.9. PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales urbanas son originalmente orgánicas en su composición y de la misma manera un número significativo de industrias en las que se incluyen químicas, farmacéuticas y agroalimentarias poseen una alta carga orgánica. Esto significa que los principales procesos de tratamiento están dirigidos a la eliminación de la composición orgánica. En una planta de tratamiento típica, el

agua residual se dirige a lo largo de una serie de procesos físicos, químicos y biológicos en los que cada uno posee una función para reducir una carga contaminante específica (Kiely, 1999). Estas funciones son típicamente (Fig. 5):

- ❖ Pretratamiento: físico y/o químico
- ❖ Tratamiento primario: físico
- ❖ Tratamiento secundario: biológico
- ❖ Tratamiento avanzado: físico, químico o biológico

PRETRATAMIENTO	TRATAMIENTO PRIMARIO	TRATAMIENTO SECUNDARIO	TRATAMIENTO TERCIARIO
<p>Objetivo</p> <p>Eliminación de objetos gruesos, arenas y grasas</p>	<p>Objetivo</p> <p>Eliminación de materia sedimentable y flotante</p>	<p>Objetivo</p> <p>Eliminación de materia orgánica disuelta o coloidal</p>	<p>Objetivo</p> <p>Eliminación de sólidos en suspensión, materia orgánica residual, nutrientes y patógenos</p>
<p>Operaciones básicas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Desbaste - Tamizado - Desarenado - Desengrasado 	<p>Operaciones básicas</p> <ul style="list-style-type: none"> - Decantación primaria - Tratamientos físico-químicos (coagulación-floculación) 	<p>Procesos básicos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Degradación bacteriana - Decantación secundaria 	<p>Procesos básicos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Floculación - Filtración - Eliminación de N y P - Desinfección
<p>Procesos físicos</p>	<p>Procesos físicos y químicos</p>	<p>Procesos biológicos</p>	<p>Procesos físicos, químicos y biológicos</p>

Figura 5. Tipos de tratamientos de aguas residuales.

4.10. EL PRETRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Son procesos que preparan las condiciones del agua residual que puede someterse a posteriores procesos de tratamiento secundario biológicos convencionales. En aguas residuales urbanas esto significa la separación de materia flotante, arena y manchas de aceite. Estas materias inhibirían el proceso biológico y posiblemente dañarían el resto de los equipos mecánicamente. Para los procesos principalmente biológicos los parámetros ideales del afluente de entrada de un fango activo urbano se encuentran en un rango de 100 a 400 mg/l para DBO₅ y SS.

El pretratamiento de las aguas residuales urbanas normalmente es sólo físico, es decir equilibrado de caudales, separación en rejillas y separación de arena o restos de aceites. Las aguas residuales industriales pueden precisar adicionalmente de un pretratamiento químico en forma de lavado con aire, oxidación, reducción y proceso de flotación por aire.

Las aguas residuales son conducidas por la red de alcantarillado hasta la estación depuradora de aguas residuales. El Pretratamiento consta de varias etapas:

Rejillas de desbaste. Elimina los sólidos más gruesos, como troncos, trapos, piedras, plásticos y papeles, comúnmente mediante la retención de los sólidos; esta operación consiste en hacer pasar el agua residual a través de una reja (Fig.

6). De esta forma, el desbaste se clasifica según la separación entre los barrotes de la reja en:

- ❖ *Desbaste fino*: con aberturas de un rango entre 1,5 y 6mm que a veces se emplean como sustituto de la decantación primaria, por ejem.: cuando se emplean fangos activados.
- ❖ *Desbaste grueso*: con aberturas mayores a 6mm que separan sólidos de gran tamaño.
- ❖ *Rejillas de extrafinos*: con unas aberturas en un rango entre 0,2 y 1,5 que reducen los SS a niveles de entrada de la decantación primaria.
- ❖ *Microtamices*: con unas aberturas en un rango de 0,001 a 0,3mm que se emplean para afinar la cantidad del efluente a modo de etapa final de tratamiento. Éstos no se emplean en un tratamiento sino como un proceso de tratamiento de una sola etapa para aguas residuales como un contenido predominantemente inorgánico.

Los trituradores son un método tradicional de desbaste por medio de rejillas y triturado del residuo acumulado permitiéndose su reintroducción en la línea de tratamiento. Estos sistemas ya no son recomendados debido a que artículos como los plásticos pueden llegar hasta la planta biológica inhibiendo el crecimiento de la población bacteriana.



Figura 6. Reja de desbaste circular (limpieza cepillo).

Tamizado. Consiste en una filtración sobre soporte delgado y sus objetivos son los mismos que se pretenden con el desbaste, es decir, la eliminación de materia que por su tamaño pueda interferir en los tratamientos posteriores (Fig. 7).

Según las dimensiones de los orificios de paso del tamiz, se distingue entre:

- ❖ *Macrotamizado:* Se hace sobre chapa perforada o enrejado metálico con paso superior a 0,2 mm. Se utilizan para retener materias en suspensión, flotantes o semiflotantes, residuos vegetales o animales, ramas de tamaño entre 0,2 y varios milímetros.
- ❖ *Microtamizado:* Hecho sobre tela metálica o plástica de malla inferior a 100 micras. Se usa para eliminar materias en suspensión muy pequeñas contenidas en el agua de abastecimiento (Plancton) o en aguas residuales pretratadas. Los tamices se incluirán en el pretratamiento de una estación depuradora en casos especiales:

- ❖ Cuando las aguas residuales brutas llevan cantidades excepcionales de sólidos en suspensión, flotantes o residuos.

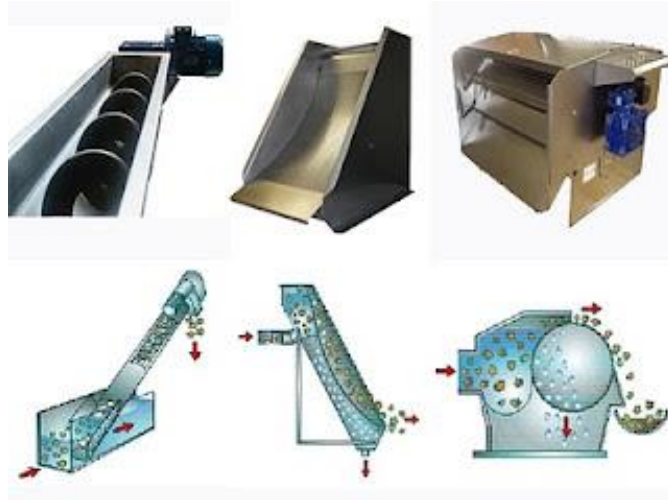


Figura 7. Tamiz tornillo, tamiz estático y tamiz rotativo.

Canales de desarenado: El objetivo de esta operación es eliminar todas aquellas partículas de granulometría superior a 200 micras, con el fin de evitar que se produzcan sedimentos en los canales y conducciones, para proteger las bombas y otros aparatos contra la abrasión, y para evitar sobrecargas en las fases de tratamiento.

Las arenas están formadas de arena inorgánica o partículas de gravilla de tamaño alrededor de 1mm que proceden del lavado de carreteras y aceras y que van a parar al alcantarillado. Estas arenas no suelen existir en aguas residuales de procesos industriales pero son parte de los sistemas municipales donde se combinan las propias aguas residuales con el agua de lluvia.

La separación de las arenas se debe a que si se permitiese su paso se puede ocasionar abrasión del equipo mecánico así como su sedimentación en la planta de tratamiento biológico, reduciendo el volumen disponible de la misma.

Los dos tipos comunes para los equipos de desarenado son:

- ❖ El desarenador aireado de flujo helicoidal
- ❖ El canal desarenador de flujo horizontal

En la Figura 8 se muestra un esquema del desarenador de aire de flujo coloidal y un desengrasador.

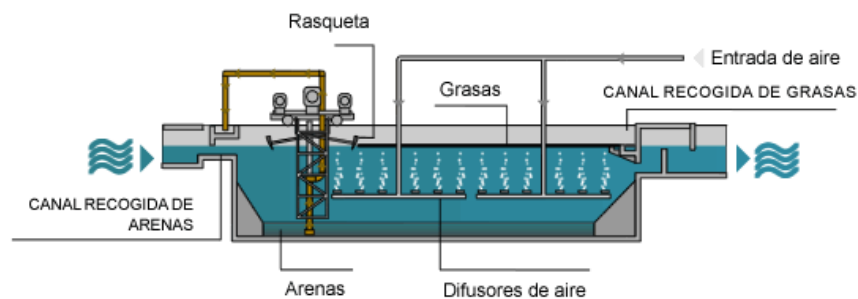


Figura 8. Desarenador y desengrasador.

Desengrasado: El objetivo en este paso es eliminar grasas, aceites, espumas y demás materiales flotantes más ligeros que el agua, que podrían distorsionar los procesos de tratamiento posteriores.

El desaceitado consiste en una separación líquido-líquido, mientras que el desengrase es una separación sólido-líquido. En ambos casos se eliminan mediante insuflación de aire, para desemulsionar las grasas y mejorar la flotabilidad.

Se podría hacer esta separación en los decantadores primarios al ir provistos éstos de unas rasquetas superficiales de barrido, pero cuando el volumen de grasa es importante, estas rasquetas son insuficientes y la recogida es deficitaria. Si se hacen desengrasado y desarenado junto en un mismo recinto, es necesario crear una zona de tranquilización donde las grasas flotan y se acumulan en la superficie, evacuándose por vertedero o por barrido superficial, y las arenas sedimentan en el fondo y son eliminadas por uno de los métodos que desarrollamos en el apartado anterior (Fig. 9).



Figura 9. Desengrasado de las aguas residuales.

Flotación: La sedimentación es el proceso unitario por gravedad para separar sólidos de los líquidos. La flotación es el proceso unitario de separación basado en la capacidad para flotar de las particular sólidas en una fase líquida. Se emplea cuando las partículas en suspensión tiene velocidades de sedimentación tan bajas que no pueden eliminar en tanques decantadores. Las partículas pueden sedimentar con ayuda química por la acción de coagulantes, como es el caso de la eliminación de partículas en suspensión en el tratamiento de las aguas potables.

En los sistemas de flotación se incluyen:

- ❖ *Flotación por gravedad:* Se acompaña por el dominado cajón de grasas o una serie de ellos. Son comunes en industrias muy pequeñas y en talleres de automóviles. El residuo líquido fluye a través de una serie de cámaras y debido a que las partículas de grasa y aceite del proceso con más ligeras que el agua, se elevan a la superficie.
- ❖ *Flotación al vacío:* Consiste en saturar con aire el agua residual en el tanque de aireación y posteriormente provocar un vacío parcial en un depósito cubierto. Del líquido se liberan burbujas diminutas que se adhieren a las partículas en suspensión y que se desplazan hacia la superficie donde se recogen mecánicamente. Este procedimiento es común en la industria del procesado de frutas y verduras.
- ❖ *Electroflotación:* Proceso en que unos electrodos dispuestos en la base del tanque producen unas microburbujas cuando el líquido en el tanque es electrolizado por medio de corriente continúa. Las burbujas de oxígeno producido en el ánodo se elevan y se adhieren a las partículas en suspensión, produciendo una capa en la superficie que puede ser barrida.

Este proceso tiene un elevado coste debido a la reposición de los electrodos.

- ❖ *Flotación por aire disuelto (FAD):* Es el método de más éxito con aire disuelto. Normalmente desde la zona inferior de la unidad de la FAD se recircula parte del efluente. El caudal recirculado se almacena en un depósito a presión donde se mezcla con aire durante unos minutos hasta llegar a la saturación. Después el efluente recirculado se añade a la unidad de FAD donde se mezcla con el caudal bruto de entrada. A medida que la presión vuelve a ser atmosférica, el aire disuelto se desprende de la solución, formando burbujas finas que se elevan hasta la superficie empujando consigo la materia grasa, donde se separa.
- ❖ *Flotación por aire:* es una variación del proceso de FAD donde el aire se introduce directamente en el tanque de flotación por medio de un soplante.

Homogenización: para que una depuradora de aguas residuales pueda tratar un afluente sin dificultad puede ser necesaria la homogenización de muchos de los parámetros del propio afluente. Estos pueden incluir uno o más de los siguientes:

- ❖ *Homogeneización de caudal:* Es habitual en las industrias que operan cinco días a la semana. El caudal se iguala o se reparte en un período de 7 días así que el caudal que llega a la planta es el mismo durante uno de los 7 días.
- ❖ *Homogeneización orgánica:* O de carga contaminante, una industria puede tener efluentes con altos valores de DQO varias veces durante la semana que se mantienen solamente unas pocas horas. Si esto se envía

directamente a la depuradora puede causar una carga de choque. Por lo tanto es normal equilibrar la carga alta de forma que se envíe a la planta para tratamiento una carga más pareja.

- ❖ *Equilibrado de nutrientes:* Estos se añaden al agua efluente cuando la entrada de agua residual sea deficiente en aquéllos.
- ❖ *Equilibrado del pH:* Es cuando el afluente a la depuradora posea valores de pH muy bajos o muy altos para un tratamiento secundario óptimo. El valor deseable de pH para los sistemas de tratamiento por fangos activados se encuentran entre los rangos de 6.5 a 8.5. Muchas aguas residuales se encuentran dentro de estos rangos y por lo tanto deben ser corregidas o equilibradas. Los objetos de la homogeneización se resumen como:
 - ❖ Homogeneización de caudales para minimizar las puntas
 - ❖ Homogeneización de las cargas orgánicas para amortiguar las fluctuaciones
 - ❖ Neutralización de las variaciones de pH para fijarlos entre los valores de 6.5 y 8.5.
 - ❖ Provisión de un caudal de entrada constante a la planta
 - ❖ Provisión de un efluente continuo de la planta al medio acuático receptor
 - ❖ Control de las cargas de toxicidad elevada

La homogeneización y neutralización se llevan a cabo en un tanque, normalmente situado después de las rejillas de desbaste y el desarenador y antes de la decantación primaria. Son habituales dos distribuciones: sistemas en línea o sistemas en paralelo. En la homogeneización en línea todo el caudal se hace pasar

por el tanque de homogeneización en línea, con lo que se logra la amortiguación importante del caudal y carga (DBO_5).

Ambos tipos de tanque son beneficiosos para los procesos posteriores de decantación primaria y tratamiento secundario biológico. Sin embargo la aportación de una aireación posee beneficios extras para los procesos de tratamientos posteriores. La homogeneización puede emplearse como una medida de mejora en plantas ya existentes o en plantas nuevas.

Las instalaciones de homogeneizaciones pueden ser generalmente de tres tipos:

- ❖ Caudal constante, carga contaminante del residuo variable
- ❖ Carga contaminante del residuo constante, caudal variable
- ❖ Caudal constante, carga contaminante del residuo constante

4.11. EL TRATAMIENTO PRIMARIO

Se denomina clarificación, sedimentación o decantación. Se emplea para la eliminación de los sólidos en suspensión y los materiales flotantes. Puede ser físico o fisicoquímico y se realiza en tanques de sedimentación para remover parte de los contaminantes y retirarlos como lodo en los fondos de los tanques. Este lodo después de ser procesado, es usado como abono. En este proceso unitario el agua residual se deja decantar durante un período de 2 horas en un tanque de decantación y producir así un efluente clarificado en una línea y un fango líquido-

sólido (denominado rango primario) en una segunda línea. Entre los beneficios del tratamiento primario se incluyen (Kiely, 1999):

- ❖ Reducción de los sólidos en suspensión
- ❖ Reducción de la DBO₅
- ❖ Reducción de la cantidad de fango activado en exceso en la planta de fangos activados
- ❖ Separación del material flotante
- ❖ Homogeneización parcial de los caudales y carga orgánica

En el tratamiento primario se lleva a cabo una sedimentación en reposo con recogida de la materia flotante y grasa así como la eliminación del lecho de fango sedimentado. La sedimentación se lleva a cabo en decantadores con una geometría variada incluyéndose:

- ❖ Circulares: lo más frecuentes
- ❖ Rectangulares
- ❖ Cuadrados

Mediante una decantación física natural de los sólidos en suspensión y una flotación, también natural, de las partículas menos densas. Los sólidos se depositan en el fondo, mientras que las partículas se retiran mediante rasquetas giratorias en superficie. El agua decantada se vierte en un canal que la conduce hacia el tratamiento biológico (Fig. 10).

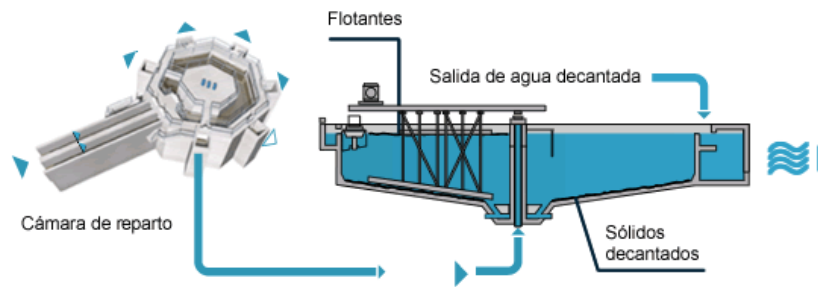


Figura 10. Decantación primario.

La decantación primaria es el más antiguo entre todos los procesos de tratamiento de aguas residuales. De acuerdo con AWWA (1992), los fondos empleados en el tratamiento primario frecuentemente proporcionan el mayor retorno de la inversión en términos de dólares por kg de contaminante separado. Tradicionalmente los criterios de diseño eran:

- ❖ Velocidad ascensional (carga superficial $\text{m}^3/\text{día}/\text{m}^2$)
- ❖ Profundidad
- ❖ Geometría superficial
- ❖ Tiempo de detención hidráulica
- ❖ Carga sobre vertedero ($\text{m}^3/\text{día}/\text{m}$)

Estos criterios son físicos y aunque son adecuados para el diseño del propio decantador no proporcionarán ninguna información acerca del rendimiento y operación del proceso de decantación. Por lo tanto se han establecido parámetros,

denominados criterios de rendimiento, para supervisar y mejorar el rendimiento diario. En estos criterios se incluyen:

- ❖ Caudales del afluente y su variación
- ❖ Tasa de carga contaminante en el afluente y su variación
- ❖ Corriente del afluentes recirculadas: 1) de los fangos activados o sépticos, 2) sobrenadantes de la deshidratación de fangos y 3) aguas de lavado de procesos de filtrado terciarios.

Decantación primaria mejorada químicamente. La adición de coagulantes como sales de hierro, cal y aluminio, previa a la decantación provoca la floculación de la materia fina en suspensión en flósculos más propensos a la decantación.

La mejora química mantiene un elevado rendimiento en una amplia gama de tasas de separación. En los decantadores primarios convencionales, a medida que la velocidad de sedimentación aumenta, el rendimiento de separación disminuye. Con coagulantes químicos, los rendimientos de eliminación son casi constantes para unos rangos de carga superficial entre 20 y 80 m³/día/m² (Heinke y Tay, 1980).

El mecanismo para la decantación primaria mejorado químicamente consiste en el empleo de un tanque de aireación antes del propio decantador. Los productos químicos se añaden en el tanque de aireación. En varias plantas de Escandinavia, el proceso total de tratamiento consiste en una preaireación con la adición de coagulante seguido de una decantación. No le sigue el tratamiento biológico

secundario. Es posible satisfacer los estándares internacionales de calidad del agua con el uso de este proceso.

4.11.2. Fangos de la decantación primaria. La cantidad de fangos producidos durante la decantación primaria dependerá del caudal, los sólidos en suspensión totales y el rendimiento de la eliminación de sólidos.

La decantación primaria mejorada químicamente puede aumentar los valores de un 50 a un 100%. Típicamente los tratamientos no asistidos producen alrededor de 0,15 kg/m³ mientras que los procesos asistidos químicamente con cal, alúmina o férrico producen 0,4 y 0,25 kg/m³ respectivamente.

4.12. TRATAMIENTO SECUNDARIO

Los contaminantes de las aguas residuales urbanas se describen resumiéndose con los siguientes parámetros:

- ❖ Sólidos totales: en suspensión (40 por 100), coloidales (10 por 100) o disueltos (50 por 100), orgánicos (50 por 100) e inorgánicos (50 por 100).
- ❖ Demando bioquímica de oxígeno
- ❖ Demando química de oxígeno
- ❖ Nutrientes: nitrógeno y fósforo

El objetivo principal del tratamiento secundario es la reducción del valor de DBO₅ que no se beneficia de la decantación primaria tanto como los SS. En sí, el

tratamiento secundario debe ser un proceso capaz de biodegradar la materia orgánica en productos no-contaminantes, como por ejemplo el H₂O, CO₂ y biomasa (o fangos). El producto efluente líquido final debe estar bien estabilizado o bien oxigenado de tal manera que no proporcione una fuente de alimento para las bacterias aerobias en el medio acuático receptor. Así que la descarga a un medio receptor debería conducir a poco o ninguna eliminación de oxígeno disuelto por la acción bacteriana. Para producir un efluente líquido bien oxigenado existe un amplio abanico de procesos biológicos, algunos generales y algunos de empresas específicas, que son capaces de eliminar la materia orgánica del agua residual (Kiely, 1999).

Los principios de la oxidación biológica. Los mecanismos de separación de materia orgánica incluyen:

- ❖ Biodegradación
- ❖ Desorción con aire (lavado con aire)
- ❖ Adsorción

La adsorción de compuestos orgánicos no degradables en partículas sólidas biológicas no es significativo, pero si se presenta en ciertos compuestos orgánicos incluyendo los pesticidas. Los metales pesados se absorberán en la biomasa y se bioacumularán, con el resultado de una formación de fangos conteniendo metales pesados.

En los sistemas aerobios se produce el lavado con aire del carbón orgánico volátil (COV). La rotura del material carbonoso por degradación aerobia emite CO₂ y otros COV hacia la atmosfera.

La biodegradación es el mecanismo dominante para la eliminación de compuestos orgánicos en las aguas residuales urbanas y en la mayoría de las industriales. Hoy día la mayoría de las plantas depuradoras utilizan el sistema de fangos activos.

Crecimiento bacteriano en cultivos puros. La población bacteriana, se expresa bien por el número de células (N) por unidad de volumen o bien por la masa de células (M) por unidad de volumen. Estas unidades no son directamente traducibles a menos que conozcamos en qué punto de la curva de crecimiento bacteriano se encuentran.

Las bacterias se reproducen por fisión binaria y la denominada tasa de regresión o tiempo de duplicación el cual, es un parámetro importante, que varía dependiendo de la posición en la mencionada curva de crecimiento. Cuando se deposita un cultivo de bacterias en el interior de un recipiente cerrado en condiciones ideales y exceso de alimento, el crecimiento y la posterior decadencia del número de bacterias sigue la curva. Durante el período de aclimatación no hay crecimiento debido a que los microorganismos se aclimatan al nuevo medio y puede prolongarse hasta seis semanas para algunos residuos industriales realmente complejos. A esta fase le sigue el denominado crecimiento exponencial, donde las bacterias se reproducen a sus tiempos de regeneración óptimos. El tiempo de

duplicación entre los 20 y 60 minutos, aunque puede llegar a varios días en condiciones ambientales excepcionales.

En la fase estacionaria la población permanece constante ya que la tasa de crecimiento iguala a la tasa de mortalidad de las bacterias. En este período el sustrato está cada vez más limitado o agotado, o hay un déficit de nutrientes. En la fase endógena, las bacterias sobreviven a partir de su propia energía y consumiendo las células ya muertas. En número de bacterias empieza a decaer acelerándose la tasa de mortalidad cuando el sustrato alimenticio desaparece. La mayoría de los organismos del fango activado son bacterias unicelulares originadas del suelo.

Sistema de tratamiento secundario. Estos sistemas se clasifican de forma amplia:

- ❖ Cultivos en suspensión
- ❖ Cultivos fijos
- ❖ Cultivos duales, biológicos en suspensión y fijos

Los sistemas de cultivos fijos se definen como aquellos procesos aerobios que obtienen una alta concentración de microorganismos a través del recirculado de sólidos biológicos. Los organismos bacterianos transforman la carga orgánica biodegradable de las aguas residuales y ciertas fracciones inorgánicas en nueva biomasa y otros productos no contaminantes como el agua o el dióxido de carbono. La biomasa se extrae como fango y líquido una vez decantado como

efluente clarificado. Los gases también se someten a un lavado con aire. Los sistemas de cultivo en suspensión y en particular los sistemas convencionales de fangos activos por flujo en pistón son los procesos más comunes para el tratamiento tanto de las aguas residuales urbanas como industriales.

Los sistemas de cultivo fijo o de reactores de película fija permiten el crecimiento de una capa bacteriana en la superficie de un medio expuesto a la atmósfera de donde se absorbe el oxígeno necesario. Al hacerlo así, la capa microbiana se extiende con la propia agua residual y en este proceso la capa microbiana transforma la carga orgánica biodegradable de las aguas residuales en biomasa y subproductos. El filtro percolador o lecho bacteriano es habitual en la depuración de las aguas residuales urbanas que ya han pasado por una decantación primaria. Los contactores biológicos rotativos o biodiscos se utilizan para aguas con más carga orgánica que las aguas residuales urbanas. Para este tipo de aguas se usan frecuentemente como pretratamiento a un sistema de fangos activados o filtro bacteriano con relleno de piedra.

Parámetros en la decantación de fangos. En el diseño de un proceso de fangos activados, el reciclado del fango es una característica distintiva. Una fracción del fango que ha decantado en el clarificador secundario se emplea como fuente de biomasa para la cuba de aireación. El contenido orgánico del fango del decantador secundario es bajo y no sirve como fuente de sustrato. Sin embargo su contenido en biomasa es elevado y por lo tanto apropiado para recircularlo. Si la cuba de aireación no recibe un reciclado de fango, la población de microorganismos

disminuiría hasta ser un reciclado de fango, la población de microorganismos disminuiría hasta ser insuficiente.

Un parámetro que se emplea en el control de la cantidad de la recirculación de fango es el índice de volumen de fangos (IVF) que se determina en pruebas de laboratorio, usando una matriz cónica.

Nitrificación y desnitrificación. Los nutrientes, tanto el nitrógeno como el fosforo, contribuyen a la eutrofización especialmente en lagos y en aguas de curso lento. Por lo tanto la mayoría de los países poseen una legislación para la eliminación de nitrógeno y fósforo.

El objetivo de los procesos de depuración de nitrificación/desnitrificación es la estabilización del N orgánico y del N amoniacal en el agua residual, primero a nitratos y después a nitrógeno gas. Generalmente el nitrógeno en el agua residual se encuentra en forma de N orgánico y N amoniacal en estado tanto soluble como en partículas. Un agua residual contiene cantidades insignificantes de N como nitrato y nitrito.

La operación de una nitrificación/desnitrificación biológica depende del mantenimiento de una población saludable de bacterias nitrificantes/desnitrificantes. Cada una de estas bacterias precisa de condiciones climáticas diferentes entre ellas. La aireación prolongada, debido a su elevado

tiempo de retención y sus bajos niveles de oxígeno (cercano al estado anóxico) en el tramo final del canal de oxidación logra los niveles de nitrificación necesarios.

4.13. SISTEMAS DE FANGOS ACTIVOS

Los sistemas de fangos activados más comunes son:

- ❖ Mezcla completa
- ❖ Flujo en pistón
- ❖ Canales de oxidación
- ❖ Contacto-estabilización
- ❖ Reactores discontinuos secuenciales

Reactores de mezcla completa. Poseen unas características uniformes en todo el reactor. Tienden a tener forma circular o cuadrada y alguna vez son rectangulares. La aireación puede ser proporcionada por turbinas superficiales cuyo nivel de inmersión es ajustable con la regulación del caudal de salida o por sistemas de aireación por medio de difusores de burbujas sumergidos. La relación entre el sustrato y los microbios se encuentra entre un rango entre 0,04 y 0,07.

En general el fango activado de retorno (FAR) procedente del decantador se alimenta directamente a la cuba de aireación que posee condiciones de mezcla completa. Una opción menos deseable es la de conectar la línea FAR con la línea de afluente y que se mezclan en la tubería antes de su entrada en el reactor. Entre las ventajas de un sistema de mezcla completa se incluyen la capacidad de

soportar cargas de choque, debido a la baja relación y la buena flexibilidad para soportar amplias variaciones de estas cargas. Este sistema es conveniente para aguas residuales industriales de alta carga orgánica.

Reactor fijo de pistón. Flujo en pistón significa que el cilindro de sustrato afluente circula por la cuba de aireación sin mucha interacción con el resto de cilindros que van antes o después que aquél. Esto significa que hay una mezcla satisfactoria en la dirección lateral pero no en la dirección longitudinal.

El sistema de flujo en pistón se caracteriza por unos niveles altos de carga orgánica en el extremo afluente del reactor, reduciéndose a medida que se acerca al conducto de salida. Típicamente la cuba de aireación es rectangular o alargada con los extremos ovalados en el extremo del afluente existe un exceso de sustrato que corresponde a la fase de crecimiento exponencial y una relación alta de F/M.

Canal de oxidación. Una configuración típica en planta de un canal de oxidación. La cuna de aireación suele tener una configuración de hipódromo con unos aireadores de cepillo dispuestos en uno o más puntos. El afluente entra al reactor justo aguas arriba del aireador y avanzado como un elemento de pistón, desde un punto con niveles altos de oxígeno a una zona con niveles bajos de oxígeno.

La aireación prolongada, que puede adoptarse con sistemas de mezcla completa, es más común en sistemas de canales de oxidación. Con la aireación prolongada se logran elevados tiempos de retención hidráulica, pudiendo manejar caudales y

cargas orgánicas variables. La fase endógena es la fase en la que operan los microorganismos y aunque es habitual la nitrificación, también se puede conseguir la desnitrificación.

Contacto-estabilización. Este sistema es una forma de fango activado en donde la aireación se lleva a cabo en dos fases y dos reactores diferentes. En el tanque de contacto la materia orgánica en suspensión es adsorbida por la masa microbiana y la masa orgánica disuelta es adsorbida por la biomasa. El tiempo de retención se encuentra entre 30 y 60min.

Reactor secuencias discontinuo (SBR). Es un sistema de fango activado de mezcla completa aunque sin decantador secundario. Dentro de una única cuba de aireación, se llevan a cabo en serie cinco etapas diferentes. Los procesos de aireación y decantación se llevan a cabo en una misma cuba. Las etapas son:

- ❖ Llenado La cuba se llena con afluente
- ❖ Reacción La cuba se airea cuando este al 100 por 100 de capacidad
- ❖ Decantación Se permite la decantación y sedimentación
- ❖ Extracción El efluente se extrae de la parte superior de la cuba
- ❖ Residuo de fango El fango se vierte por la parte inferior de la cuba

14.14. SISTEMAS DE CULTIVO FIJO

Cuando el agua residual orgánica se riega sobre piedras o plástico, en su superficie se desarrolla una fina capa microbiana. Esta capa produce el efecto de conseguir una reducción en la DBO₅ de los afluentes. Tradicionalmente las piedras se agrupan en un cilindro de poca altura y abierto por encima con una profundidad en torno a 1 m. Actualmente las piedras han sido sustituidas por material de plástico para favorecer el crecimiento microbiano ya que este posee una relación mucho mayor entre área superficial y volumen.

Filtros percoladores. Estos filtros se construían con estructuras cilíndricas o rectangulares de hormigón o acero, conteniendo el lecho de piedra. El lecho tendría a ser angular más que redondeado y por eso se emplea la frecuencia de la piedra caliza. La circulación del efluente a través de los filtros mejora la calidad del efluente final e incluso se puede conseguir la nitrificación en unidades de baja carga.

Como ocurre en los sistemas de fangos activados, el mantenimiento en buen estado de las comunidades de microorganismos es fundamental en los filtros percoladores. Los microorganismos más significativos son las bacterias facultativas, aunque en el propio hábitat también se pueden encontrar hongos, protozoos, algas, gusanos, insectos y caracoles. La reducción de la DBO es el producto de las bacterias que se encuentran en las zonas de la superficie. Las bacterias nitrificantes situadas a mayores profundidades llevan a cabo la

nitrificación. Los factores que afectan a la operación y diseño del proceso han sido identificadas por AWWA (1992) como:

- ❖ Composición y biodegradabilidad del agua residual
- ❖ Tipo y profundidad del medio filtrante
- ❖ Carga hidráulica y orgánica
- ❖ Relación de circulación y disposición
- ❖ Temperatura
- ❖ Operación del repartidor

Los filtros percoladores son sistemas versátiles, capaces de tratar un residuo de baja carga orgánica y obtener un efluente de alta calidad o de actuar como pretratamiento para aguas residuales de alta carga orgánica. También sucede que debido a que los tiempos de retención son cortos en comparación con los sistemas de fangos activados convencionales, los residuales de biodegradabilidad lenta pueden depurarse en filtros percoladores. Este puede ser el caso de residuos con partículas en suspensión no floculantes. Sin embargo, el sistema es capaz de tratar compuestos orgánicos solubles eficientemente y como tal es apropiado para un gran número de aguas residuales industriales como pueden ser los residuos de la industria láctea.

El medio de piedra se usa típicamente para afluentes de baja carga orgánica como pueden ser las aguas residuales urbanas y el medio plástico para aguas residuales industriales, aunque en el pasado también se ha usado la piedra.

Biotorres. Las torres del lecho bacteriano o biotorres utilizan un relleno plástico alcanzándose cargas tanto hidráulica como orgánica superiores a los filtros percoladores de piedra. Estas unidades se emplean principalmente con aguas residuales industriales de alta carga orgánica y son frecuentes en la industria láctea.

Biodiscos. Un cilindro de eje horizontal gira dentro y fuera de un tanque de retención del agua residual de geometría semicircular. El cilindro giratorio o reactor se fabrica de material plástico de alta densidad. A medida que el cilindro gira se crea una capa de biomasa en la superficie y el agua residual entra en contacto con la biomasa y el aire. El agua residual gotea por la superficie del reactor y adsorbe oxígeno del aire. Los microorganismos en la biomasa separan la materia orgánica del agua residual.

14.15. ELIMINACIÓN DE NUTRIENTES

A la hora de examinar la eliminación de nutrientes del agua residual, el nitrógeno y fósforo son los compuestos clave ya que ocasionan la contaminación del medio acuático receptor.

En aguas residuales, casi no hay nitrito ni nitrato, de forma que el N total se aproxima al N kjeldahl. Sin embargo, el proceso de depuración, fangos activados, oxida tanto el nitrógeno orgánico como amoniacal a los dos estados más oxidados

de N como nitrito y nitrato. La nitrificación y desnitrificación sólo funcionan en condiciones ideales, específicas para cada proceso. Ambas requieren diferentes condiciones, aunque posiblemente en el mismo reactor pero en momentos diferentes. Las condiciones ideales se caracterizan por:

- ❖ Niveles de oxígeno disuelto
- ❖ Disponibilidad de carga orgánica

Al igual que el nitrógeno, el fósforo también tiene un ciclo. El fósforo se encuentra en disolución, en partículas, detritos o en los cuerpos de microorganismos en los siguientes estados:

- ❖ Ortofosfatos
- ❖ Polifosfatos
- ❖ P ligado orgánicamente

Entre las fuentes de fósforo se incluyen:

- ❖ Detergentes, doméstico e industrial
- ❖ Fertilizantes para el retorno
- ❖ Aditivos para el tratamiento de aguas potables
- ❖ Residuos humanos en agua residual
- ❖ Residuos de alimentos en agua residual

Como el nitrógeno, el fósforo es un contaminante del agua si existe en un medio acuático con limitación de crecimiento. El fósforo puede estimular el crecimiento de algas de fotosíntesis, causando la posterior aerificación de lagos o ríos de

curso lento. Por eso deseable reducir el fósforo total en aguas residuales urbanas. El fósforo se eliminaba de las aguas residuales por precipitación química a partir de la adición de sales metálicas como el cloruro férrico. En la actualidad la eliminación del fósforo es más aconsejable por procesos biológicos.

Eliminación biológica de los nutrientes. La eliminación biológica de nitrógeno es un proceso de doble etapa:

- ❖ Nitrificación en condiciones aerobias
- ❖ Desnitrificación en condiciones anóxicas

La eliminación biológica del fósforo es un proceso de una etapa donde se alternan las condiciones aerobias y anaerobias. La eliminación del fósforo inorgánico es un proceso de una sola etapa. Los sistemas más comunes incluyen la eliminación biológica de N unido a la eliminación química de P. Aunque existen sistemas de eliminación biológica tanto de N como de P, se les suele asistir en parte con la eliminación química del P.

Nitrificación. La nitrificación u oxidación de amoníaco depende de las poblaciones de bacterias nitrificantes, que a su vez dependen de la temperatura, concentraciones de amoníaco, sustrato orgánico, pH, concentración OD, tiempo medio de residencia de celular del sistema y la presencia de inhibidores de la nitrificación. Según AWWA (1992) se sabe por cada kg de nitrógeno amoniacal que se oxida a nitrato:

- ❖ Se consumen 4,18 kg de O₂

- ❖ Se destruyen 14,1 kg de alcalinidad expresado como CaCO_3
- ❖ Se producen 0,15 kg de nuevas células (fango extra)
- ❖ Se consumen 0,09 kg de carbono inorgánico

Esto muestra que la producción de más microorganismos se consume mayor cantidad de oxígeno, más alcalinidad y más carbono.

Desnitrificación. Sigue tras la culminación del proceso de nitrificación. Biológicamente se alcanza bajo condiciones anóxicas, es decir en ausencia de oxígeno. La energía necesaria para la desnitrificación procede de la materia orgánica presente en el agua residual. La zona anóxica debe situarse por tanto en la parte del proceso donde se asegure la fuente interna de carbono. Para aguas residuales municipales este hecho no es frecuente aunque sí lo es para el caso de algunas aguas residuales industriales. Los organismos desnitrificados son principalmente heterótrofos facultativos en la ausencia de oxígeno molecular.

Sistemas combinados de nitrificación-desnitrificación. Para evitar el uso de fuentes externas de carbono en la desnitrificación y aprovechar su ventaja en el ahorro de oxígeno, se han desarrollado varios sistemas combinados de nitrificación de nitrificación-desnitrificación. El efluente del reactor anóxico se alimenta a la cuba aerobia a lo largo de la cual se mantienen niveles de oxígeno por encima de 2mg/l. el efluente bien nitrificado y oxidado procedente de la cuna aerobia pasa al clarificador secundario para una decantación final. El efluente de agua residual se alimenta a la zona anóxica en donde el abundante carbono del

residuo se emplea como fuente de energía para la colonia de bacterias desnitrificantes. El efluente se extrae del final de la zona aerobia. La eliminación del nitrógeno puede mejorarse añadiendo una segunda zona anóxica, como en el proceso Bardenpho.

Eliminación biológica del fósforo. Se basa en la idea de forzar a los microorganismos a que retengan más fósforo del que necesitan para su crecimiento. Típicamente, la biomasa de un agua residual la forman células bacterianas que se componen principalmente de carbono, oxígeno, nitrógeno, hidrógeno y fósforo. Entre otras palabras, parece haber un límite para la cantidad de fósforo que puede tomar una bacteria. En los procesos convencionales de tratamiento secundario se eliminan alrededor del 20 % del nivel de fósforo en el afluente y en el tratamiento primario se elimina alrededor de un 10%.

Los niveles de fósforo en el afluente bruto total se encuentran en unos 10 mg/l para aguas residuales urbanas y el estándar establecido para los niveles de fósforo total del efluente total es de <1 mg/l. Los procesos convencionales de tratamiento no son apropiados para poder alcanzar los estándares de manera que la eliminación de fósforo por precipitación química era usual hasta el desarrollo de los sistemas para su separación biológica. La eliminación biológica del fósforo se desarrolló cuando se identificó que se favorecían las capacidades de almacenamiento de fósforo por parte de las bacterias cuando éstas se exponían alternativamente a ambientes anaerobios y aerobios. El contenido típico de fósforo en porcentaje de peso seco de sólidos microbianos está entre 1,5 y 2%. Un

sistema con una zona anaerobia seguida de una zona aerobia da como resultado la formación de una población rica en organismos capaces de adsorber unos niveles de fósforo por encima de las necesidades estequiometrias para su crecimiento.

Los sistemas biológicos de eliminación del fósforo pueden reducir aún más los niveles en un 70 a un 80 %. El mecanismo de eliminación del fósforo se produce a través de la bacteria *Acinobacter* sp. en un medio anaerobio con ausencia de nitratos y oxígeno disuelto.

Eliminación biológica combinada de nitrógeno y fósforo. La eliminación de nutrientes por métodos biológicos es una de las áreas de tratamiento de aguas residuales más interesantes en el campo de la investigación de las dos últimas décadas.

14.16. DECANTACIÓN SECUNDARIA

El tiempo de retención en los decantadores primarios es típicamente de unas 2 horas. Si este tiempo se prolongase el decantador podría tornarse séptico. Menos tiempo puede significar un tratamiento ineficiente, especialmente de los sólidos en suspensión. En los decantadores secundarios el tiempo de retención es similar. La función del decantador secundario es: la decantación y el espesamiento de los fangos (en su fondo). Es importante que las partículas sólidas no se escapen en el

efluente clarificado ya que éstas al ser de tipo biológico podrían provocar una demanda de oxígeno en el medio receptor.

14.17. PROCESO DE TRATAMIENTOS AVANZADOS

La Directiva UE sobre aguas residuales urbanas determina que las áreas sensibles estarán sujetas a unos tratamientos más restrictivos. Esto significa que con frecuencia se deben proyectar plantas que proporcionen un estándar mejor que un tratamiento secundario convencional (Kiely, 1999). De esta forma pueden precisarse concentraciones de efluentes más bajas en DBO5/SS para satisfacer los estándares locales de calidad de un agua receptora. Los tratamientos avanzados de aguas residuales tienen dos funciones:

- ❖ Afino del efluente
- ❖ Eliminación de compuestos tóxicos
- ❖ Para el afinado del afluente y la eliminación de compuestos tóxicos los procesos más fácilmente disponibles son:
 - ❖ Filtración en medio regular
 - ❖ Adsorción
 - ❖ Tratamiento químico
 - ❖ Lavado con aire
 - ❖ Cloración

El tratamiento secundario alcanza estándares de calidad en el efluente de alrededor de 20 mg/l para el DBO5 y unos 30 mg/l para la concentración de SS.

En algunas ocasiones en procesos de elevado tiempo de retención, como en los canales de oxidación, se alcanzan mejores niveles de calidad, pero esto puede depender de sistemas de baja carga. Los estándares alcanzados pueden empeorar con unas cargas elevadas.

Filtración en medio granular. La filtración se aplica cuando la concentración de SS en el efluente debe ser <10 mg/l. Las unidades de filtración no son iguales que las empleadas en el tratamiento de aguas potables. Su sentido de circulación puede ser descendente o ascendente. Pueden ser filtros duales o multimedio. El medio filtrante puede ser natural o sintético y pueden trabajar por gravedad o a presión. La filtración a la clarificación secundaria, que a su vez puede ser seguida de una desinfección.

Adsorción con carbón activado. Los compuestos orgánicos en el agua residual pueden eliminarse bien por el carbón activado en polvo (PAC) o carbón activado granulado. En las aguas residuales urbanas los compuestos orgánicos no suelen ser problemáticos, únicamente lo son si las aguas se han contaminado con compuestos orgánicos industriales. Los compuestos orgánicos solubles ocasionan una merma del oxígeno disuelto en las aguas receptoras. Entre los compuestos orgánicos solubles se incluyen: bencenos, clorobencenos, cloroetanos, éteres clorados y fenoles, diclorobencenos y PAH.

El carbón activado elimina selectivamente estos compuestos cuando entra en contacto con agua que contenga materia orgánica mediante los siguientes procesos:

- ❖ Adsorción de las moléculas menos polares
- ❖ Filtración de las partículas mayores
- ❖ Deposición parcial de las coloides en la superficie externa del carbón activado.

Los tipos de procesos de adsorción con carbón incluyen:

- ❖ Columnas ascendentes
- ❖ Columnas descendentes
- ❖ Lechos fijos y expandidos

Tratamiento químico. Puede emplearse en muchos de los problemas que se presentan en la depuración de aguas residuales:

- ❖ Mejora de la decantación por sales metálicas o polielectrólitos
- ❖ Reducción o enmascaramiento de olores
- ❖ Precipitación química del fósforo
- ❖ Reducción de los problemas en fangos activados, como fango voluminoso.
- ❖ Corrección de pH
- ❖ Desinfección

Eliminación de amoníaco por lavado de aire. Muchas industrias alimentarias y farmacéuticas producen un efluente rico en amoníaco. En los estándares de calidad de efluentes se contempla también un límite para el amoníaco así como para DOB5/SS. Si los niveles de amoníaco son altos, puede no ser posible reducir con procesos de eliminación biológicos de nitrógeno convencionales.

El nitrógeno amoniacal también se puede eliminar de las aguas residuales con adición de cloro, pero sólo en cloro en pequeñas cantidades de amoníaco. Cuando se añade cloro a un agua residual con nitrógeno amoniacal, se producen cloraminas en la reacción con ácido hipocloroso.

14.18. DESINFECCIÓN DE AGUA RESIDUAL

La desinfección de agua residual no es común en la mayor parte de Europa, particularmente donde el efluente depurado se vierte a aguas dulces, mientras que la desinfección de los suministros de agua potable es una imposición legal. En cambio está muy extendida en los EE. UU. Y en menor medida en Francia. Puede ser necesario desinfectar el agua residual si se produce el vertido a:

- ❖ Agua de baño
- ❖ Aguas de cría de marisco
- ❖ Aguas captadas para consumo humano

La desinfección de coliformes fecales en las aguas receptoras es indicativo de contaminación humana reciente (saneamiento) o de residuos de animales.

Entre los procedimientos de desinfección del agua residual se incluyen:

- ❖ Cloro
- ❖ Ozono
- ❖ Dióxido de cloro
- ❖ Radiación ultravioleta

Las metodologías de desinfección del agua residual son similares a las descritas para agua potable. La desinfección del agua potable mediante cloro u otro oxidante suelen tener éxito ya que ésta se encuentra libre de DBO5 y SS y es sencillo lograr un nivel de cloro residual. En el caso del agua residual, debido a que los valores de DBO5/SS de salida del tratamiento secundario son 20/30 el desinfectante primeramente oxidará la DBO5 antes de poder llevar a cabo una desinfección efectiva.

14.18. DIFUSORES PARA AGUAS RESIDUALES

Cuando el agua se depura finalmente hasta el estándar necesario se vierte bien a un medio de agua dulce o de agua de mar. Cuando los valores de vertido son bajos, se pueden efectuar mediante una simple tubería dispuesta sobre el lecho de un río. Sin embargo, para una solución adecuada puede ser importante diseñar y emplazar un emisario apropiadamente proyectado. Estos emisarios pueden

tener un diseño bien con abertura de chorro circular o disponer de un corto continuo a lo largo de la tubería o una variación de ambos, y pueden estar situados a una cierta distancia de la superficie del terreno.

Flujo del penacho del difusor. Un penacho es un flujo que principalmente tiene un movimiento ascendente por flotación, ya sea en la atmósfera como un penacho de humo o un penacho de compuesto contaminante líquido en un río o estuario. La capacidad para flotar es provocada por las diferencias en las densidades entre el flujo que se vierte (agua residual) y el medio fluido (agua dulce o agua de mar). Cuando un penacho se descarga suceden dos hechos: primero, el penacho se mezcla debido a la cantidad de movimiento inicial a la salida y el segundo, la flotabilidad produce una mezcla entre el penacho circular y los penachos planos.

Diseño del difusor. La tarea del difusor debe proporcionar una disolución adecuada del vertido y asegurar que éste se desplace aguas abajo en un río o mar adentro en el caso del agua de mar. Asimismo el difusor debe de situarse a una profundidad adecuada para optimizar la disolución del efluente antes de que alcance la superficie. Un difusor circular suele ser una tubería dispuesta sobre un lecho de arena y con un número de aberturas repartidas a lo largo de la misma. La distancia entre aberturas y su número debe ser la adecuada para asegurar una disolución uniforme. El diámetro de la tubería difusora y las aberturas debe adecuarse para mantener una velocidad de manera que las partículas sólidas no sedimenten la tubería. El emisario debe ser también lo suficientemente largo para evitar que el agua residual retorne a la costa.

Para los ríos el difusor debe de situarse cerca de la línea media del río de modo que el agua residual no se concentre entre sus orillas.

Cuadro 3. Técnicas oficiales para el muestreo de aguas.

Normas Mexicanas	Descripción
NMX-AA-014-1980	Cuerpos receptores – muestreo.
NMX-AA-003-1980	Aguas residuales – muestreo.
NMX-AA-004-SCFI-2000	Análisis de agua-determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba.
NMX-AA-005-SCFI-2000	Análisis de agua- determinación de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba.
NMX-AA-006-SCFI-2010	Análisis de agua-determinación de materia flotante en aguas residuales y residuales tratadas-método de prueba.
NMX-AA-007-SCFI-2000	Análisis de agua determinación de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba.
NMX-AA-012-SCFI-2001	Análisis de agua-determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y

	residuales tratadas-método de prueba.
NMX-AA-026-SCFI-2010	Análisis de agua-medición de nitrógeno total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba.
NMX-AA-028-SCFI-2001	Análisis de agua - determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO5) y residuales tratadas-método de prueba.
NMX-AA-029-SCFI-2001	Análisis de aguas-determinación de fosforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba.
NMX-AA-030-SCFI-2001	Análisis de agua - determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba.
NMX-AA-034-SCFI-2001	Análisis de agua - determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba.
NMX-AA-036-SCFI-2001	Análisis de agua - determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba.
NMX-AA-038-SCFI-2001	Análisis de agua - determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas -

	método de prueba.
NMX-AA-039-SCFI-2001	Análisis de aguas - determinación de sustancias activas al azul de metileno (SAAM) en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba.
NMX-AA-042-1987	Calidad del agua - determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y <i>Escherichia coli</i> presuntiva.
NMX-AA-044-SCFI-2001	Análisis de aguas - determinación de cromo hexavalente en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba.
NMX-AA-045-SCFI-2001	Análisis de agua - determinación de color platino cobalto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba.
NMX-AA-050-SCFI-2001	Análisis de agua - determinación de fenoles totales en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba.
NMX-AA-051-SCFI-2001	Análisis de agua - determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales, y residuales tratadas - método de prueba.

NMX-AA-058-SCFI-2001	Análisis de aguas - determinación de cianuros totales en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba.
NMX-AA-063-SCFI-2001	Análisis de agua - determinación de boro en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba.
NMX-AA-072-SCFI-2001	Análisis de agua - determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba.
NMX-AA-073-SCFI-2001	Análisis de agua - determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba.
NMX-AA-077-SCFI-2001	Análisis de aguas - determinación de fluoruros en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.
NMX-AA-079-SCFI-2001	Análisis de aguas - determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales, y residuales tratadas - método de prueba
NMX-AA-081-1986	Contaminación de agua - determinación de nitrógeno de nitrato en agua marina - método de reducción de nitrato a nitrito en columna de cadmio cobre.
NMX-AA-082-1986	Contaminación de agua - determinación de nitrógeno de nitrato - método espectrofotométrico

	ultravioleta.
NMX-AA-099-SCFI-2006	Análisis de agua-determinación de nitrógeno de nitritos en aguas naturales y residuales-métodos de prueba.
NMX-AA-089/1-SCFI-2010	Protección al ambiente-calidad del agua-vocabulario- parte 1.
NMX-AA-089-2-1992	Protección al ambiente - calidad del agua - vocabulario – parte 2.
NMX-AA-102-SCFI-2006	Calidad del agua-detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y <i>Escherichia coli</i> presuntiva método de filtración en membrana.

5. CONCLUSIONES

Las aguas residuales o negras son fundamentalmente aguas contaminadas que desecha la población y puede llegar a acarrear desechos humanos, desperdicios caseros, descargas pluviales, infiltraciones de aguas subterráneas y desechos industriales.

Las plantas de tratamiento utilizan métodos físicos, biológicos y químicos para descontaminar el agua, así mismo muchas de las bacterias son esenciales o necesarias para la vida humana, sólo una minúscula fracción, alrededor del 2% es nociva para el hombre.

Al analizar los trabajos acerca de la contaminación por aguas residuales se observa que los problemas de contaminación se agravan a medida que la población se incrementa, ya que por necesidad de vivienda se instalan en los márgenes de ríos y arroyos y sus descargas de drenajes van directo al cauce de ellos.

Por lo tanto no se debe olvidar que el agua es uno de los elementos vitales para la vida del hombre así como para la vida de la flora y fauna del ecosistema; al atentar contra su pureza representa un grave problema para la supervivencia humana y cualquier organismo vivo.

Es por eso que el presente trabajo da a conocer las técnicas en base a la normatividad para el control de las descargas de aguas residuales, las cuales pueden dar buenos resultados si se les aplica de la manera correcta así mismo garantizar una calidad ambiental más óptima.

Pero estos procedimientos resultarían en vano sin la cooperación de la comunidad en cuestión ya que al ritmo que se esta contaminando solo se controla y no se erradica; ya que principalmente se tienen que eliminar las fuentes de los diferentes tipos de contaminantes o regularlos a lo máximo posible y respetar los límites preestablecidos por las normas correspondientes y sancionar aquellos que no cumplan con esto, y se concientice de forma individual y por familia para no seguir contaminando de manera irracional.

En base a lo anterior, el presente trabajo ha abordado la contaminación por descargas residuales y es por ello que para disminuir la contaminación en los cuerpos de agua es necesario implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales para lograr cumplir con lo establecido por dichas normas que se mencionan en el dicha investigación, para poder disminuir considerablemente los contaminantes y sus productos de desecho.

Finalmente resultaría importante que con el apoyo de la universidad se pueda avanzar en futuros trabajos de especialidad o maestría que permita ampliar el alcance de la presente investigación o realizar esta investigación en dichas

cuencas con el fin de implementar una red de monitoreo y a su vez proporcionar información que sea de gran valor para la comunidad y el medio ambiente.

6. BIBLIOGRAFÍA

1. ASCE (American Society of Civil Engineers) and WET (Water Environment Federation). 1991. Design of Municipal Wastewater treatment plants, Vols. I and II, Alexandria, Virginia, USA.
2. AWWA (American Water Works Association). 1992. Standard Methods for the Examination of water and wastewater, 18th edn.
3. Bailey, J. E. y D. F. Ollis. 1986. Biochemical Engineering Fundamentals, 2nd edn, McGraw Hill, New York.
4. Becerra, N. E. 2001. Procesos biológicos aplicados al tratamiento de aguas residuales. Ingeniería Hidráulica Ambiental Vol. XXII N° 4. La Habana, Cuba.
5. Carabias y Collado, 2005. Agua, Medio ambiente y Sociedad. UNAM. México.
6. CONAGUA. 2000. El agua en México: retos y avances. México.
7. CONAGUA. 2005. Estadísticas *del agua en México*. Síntesis. México.
8. CONAGUA. 2007. Lo que se dice del agua. CONAGUA. México.
9. CONAGUA y REPDA. 2010. Comisión nacional del Agua y Registro Público de Derechos de Agua. México.
10. Diario oficial de la federación. (<http://dof.gob.mx/>).
11. Eckenfelder, W. W. 1989. Industrial water pollution control. McGraw-Hill, New York.
12. Eckenfelder, W. W. y W. Barnhart. 1963. Performance of a higt rate trickling filter using selected media, J. Water Pollution Control Federation. 35, 1535.

13. Eckenfelder, W. W., A. C. Downing, C. J. Appleyard, P. W. Langford, J. L. Musterman and T. Bilstad. 1992. Industrial water pollution, Control Technology, Technomic Publishers London.
14. Kiely, G. 1999. Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. McGraw Hill. 1ra. edición. Madrid, España. 669-759 pp.
15. Ley de Aguas Nacionales. 2010. Legislación. Constitución Política Mexicana de los Estados Unidos. Nueva ley publicada en el Diario oficial de la Federación el 1° de diciembre de 1992 (Última reforma publicada el 08/06/2012).
16. Metcalf and Eddy, Inc. 1991. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse, T. Tchobanoglous and F. Burton (eds), McGraw Hill, New York.
17. Monge, C. 2004. La naturaleza del agua como recurso. Perspectiva social, económica e institucional de una gestión integral. Congreso ibérico sobre gestión y planificación del agua. Tortosa. (http://www.congreso.us.es/ciberico/archivos_acrobat/zaracomun5segura.pdf)
18. NOM-001-SEMARNAT-1996. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
19. NOM-002-SEMARNAT-1996. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

20. NOM-003-SEMARNAT-1997. Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.
21. NMX-AA-003-1980. AGUAS RESIDUALES – MUESTREO. (CANCELA A LA NMX-AA-003-1975).
22. NMX-AA-004-SCFI-2000. Análisis de agua-determinación de sólidos sedimentables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba. (Cancela a la NMX-AA-004-1973) (Cancela a la NMX-AA-004-1977 del 15-09-1977).
23. NMX-AA-005-SCFI-2000. Análisis de agua- determinación de grasas y aceites recuperables en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba. (Cancela a la NMX-AA-005-1973) (Cancela a la NMX-AA-005-1980 del 08-08-1980).
24. NMX-AA-006-SCFI-2010. Análisis de agua-determinación de materia flotante en aguas residuales y residuales tratadas-método de prueba (Cancela a la NMX-AA-006- SCFI-2000). Vigencia dof. 30-09-2010
- 25.7. NMX-AA-007-SCFI-2000. Análisis de agua determinación de la temperatura en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba. (Cancela a la NMX-AA-007-1973) (Cancela a la NMX-AA-007-1980 del 23-07-1980).
26. NMX-AA-012-SCFI-2001. Análisis de agua-determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba. (Cancela a la NMX-AA-0012-1975) cancela a la NMX-AA-012-1980 del 15-07-80).

27. NMX-AA-014-1980. Cuerpos receptores – muestreo. (Cancela a la NMX-AA-014-1975).
28. NMX-AA-026-SCFI-2010. Análisis de agua-medición de nitrógeno total kjeldahl en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba (Cancela a la NMX-AA-026-SCFI-2001).
29. NMX-AA-028-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (dbo5) y residuales tratadas-método de prueba. (Cancela a la NMX-AA-028-1976) (Cancela a la NMX-AA-028-1981 del 06-07-1981).
30. NMX-AA-029-SCFI-2001. Análisis de aguas-determinación de fosforo total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba. (Cancela a la NMX-AA-029-1981 del 21-10-1981).
31. NMX-AA-030-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de la demanda química de oxígeno en aguas naturales, residuales y residuales tratadas-método de prueba. (cancela a la NMX-AA-030-1976) (Cancela a la NMX-AA-030-1981 del 27-04-1981).
32. NMX-AA-034-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de sólidos y sales disueltas en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba. (Cancela a la NMX-AA-034-1981 publicada el 03-07-1981).
33. NMX-AA-036-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de acidez y alcalinidad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba. (Cancela a la NMX-AA-036-1980 publicada el 21-10-1980).

34. NMX-AA-038-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba. (Cancela a la NMX-AA-038-1982 publicada el 07-04-1982).
35. NMX-AA-039-SCFI-2001. Análisis de aguas - determinación de sustancias activas al azul de metileno (saam) en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas método de prueba. (Cancela a la NMX-AA-039-1980 publicada el 18-09-1980).
36. NMX-AA-042-1987. Calidad del agua - determinación del número más probable (nmp) de coliformes totales, coliformes fecales (termotolerantes) y *Escherichia coli* presuntiva. (Cancela a la NMX-AA-042-1981).
38. NMX-AA-044-SCFI-2001. Análisis de aguas - determinación de Cromo hexavalente en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba. (Cancela a la NMXAA-044-1982 publicada el 06-01-1982).
39. NMX-AA-045-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de color platino cobalto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba. (Cancela a la NMX-AA-045-1981 publicada el 30-11-1981).
40. NMX-AA-050-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de fenoles totales en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba. (Cancela a la NMX-AA-050-1982 publicada el 15-02-1982).
41. NMX-AA-051-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales, y residuales tratadas - método de prueba. (Cancela a la NMX-AA-051-1981).

42. NMX-AA-058-SCFI-2001. Análisis de aguas - determinación de cianuros totales en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba. (Cancela a la NMX-AA-058-1981).
43. NMX-AA-063-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de boro en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba (Cancela a la NMX-AA-063-1981).
44. NMX-AA-072-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba (Cancela a la NMX-AA-072-1981).
45. NMX-AA-073-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - método de prueba (Cancela a la NMX-AA-073-1981).
46. NMX-AA-077-SCFI-2001. Análisis de aguas - determinación de fluoruros en aguas naturales, residuales y residuales tratadas (Cancela a la NMX-AA-077-1982).
47. NMX-AA-079-SCFI-2001. Análisis de aguas - determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba (Cancela a la NMX-AA-079-1986).
48. NMX-AA-081-1986. Contaminación del agua – determinación de nitrógeno de nitrato en agua marina – método de reducción de nitrato a nitrito en columna de cadmio.
49. NMX-AA-082-1986. Contaminación del agua-determinación de nitrógeno de nitrato-método espectrofotométrico ultravioleta.

50. NMX-AA-089/1-SCFI-2010. Protección al ambiente-calidad del Agua-vocabulario parte 1 (Cancela a la NMX-AA-089-1-1986).
51. NMX-AA-089-2-1992. Protección al ambiente - calidad del agua - vocabulario – parte 2.
52. NMX-AA-099-SCFI-2006. Análisis de agua – determinación de nitrógeno de nitritos en aguas naturales y residuales – métodos de prueba (Cancela a la NMX-AA-099-1987).
53. NMX-AA-102-SCFI-2006, Calidad del agua-detección y enumeración de organismos coliformes, organismos coliformes termotolerantes y *Escherichia coli* presuntiva método de filtración en membrana. (Cancela a la NMX-AA-102-1987).
54. Ramalho, R. S. 2003. Tratamiento de Aguas Residuales. Editorial Reverté, S.A. España.
55. Rodríguez, G. 2003. Agua y Metrópoli: logrando la sustentabilidad. PUEC, UNAM. México, 1 p.
56. Samboni, R. N. E.; Carvajal, E. y J. C. Escobar. 2007. Revisión de parámetros fisicoquímicos como indicadores de calidad y contaminación del agua. Ingeniería e Investigación 27 (3):172-181.
57. SEP. 2005. Manual de Técnico Laborista Ambiental Modulo II. Primera edición. Subsecretaría de Educación Media Superior, SEP.
58. Tratamiento de aguas residuales. Comisión de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Acapulco.-Guía Ambiental Acapulco, Guerrero, México, 2010.

59. PNUMA, 2004. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
Oficina Regional para América Latina y el Caribe.

ANEXOS

Anexo I. Ejemplos de tratamiento de aguas residuales.



Figura 11. Vista de una planta tratadora con lodos activados.



Figura 12. Ejemplo de lagunas aireadas.



Figura 13. Digestión aerobia.



Figura 14. Planta tratadora con filtros percolados.



Figura 15. Tratamiento a base de biodiscos.

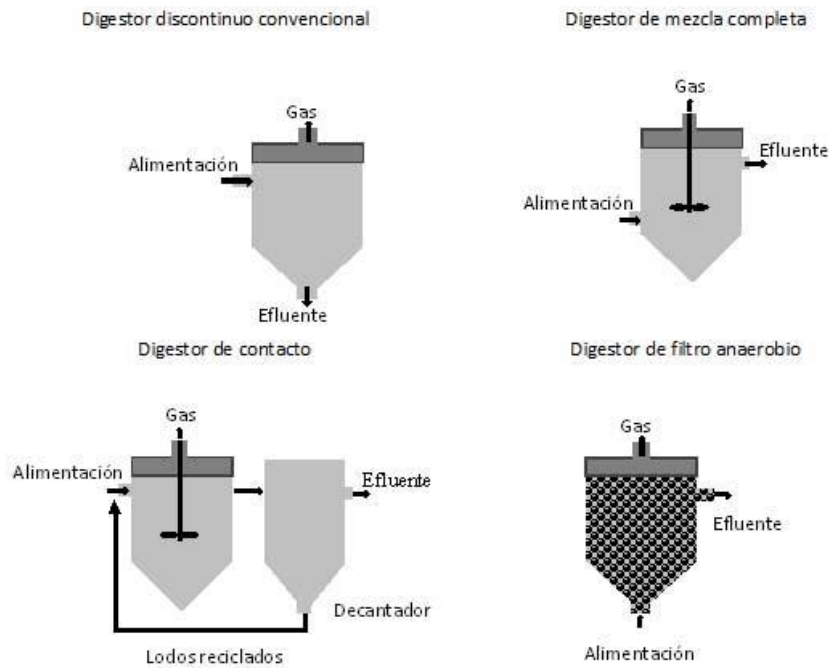


Figura 16. Ejemplos de digestores en filtros anaerobios.

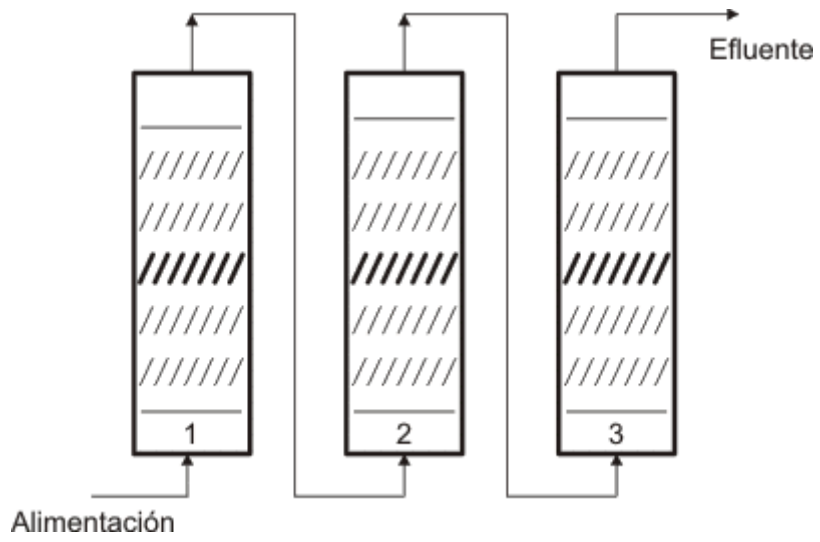


Figura 17. Ejemplo de un reactor de lecho expandido.



Figura 18. Plantas tratadoras por estanque o lagunaje.



Figura 19. Laguna aerobia en el tratamiento de aguas negras.



Figura 20. Tratamiento con lagunas facultativas.



Figura 21. Lagunas de maduración.



Figura 22. Decantación secundaria.

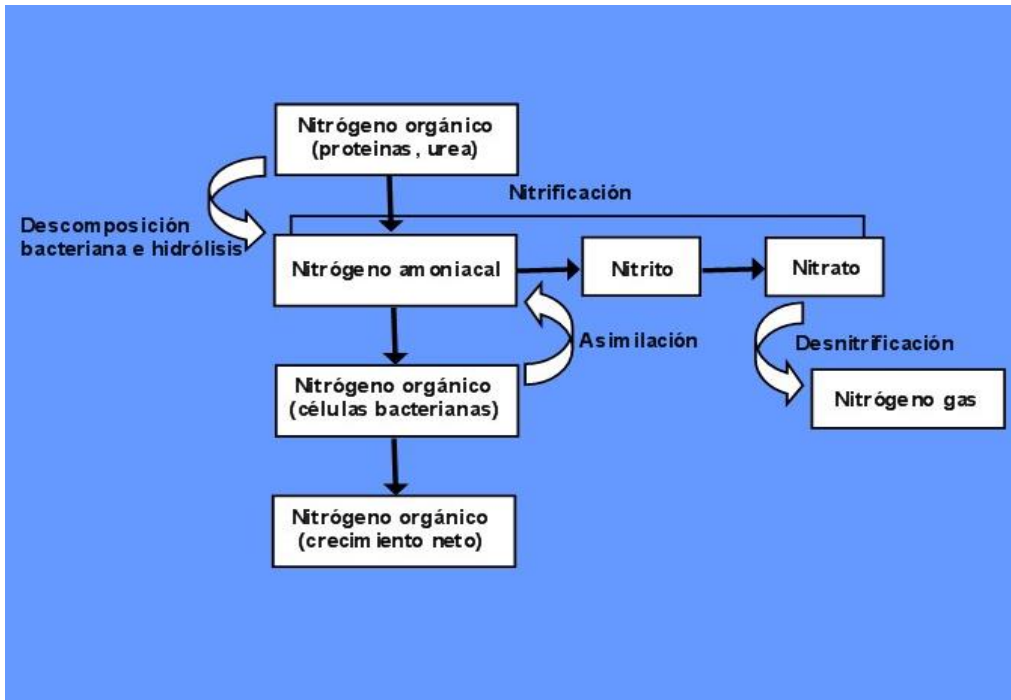


Figura 23. Proceso de eliminación de nitrógeno.

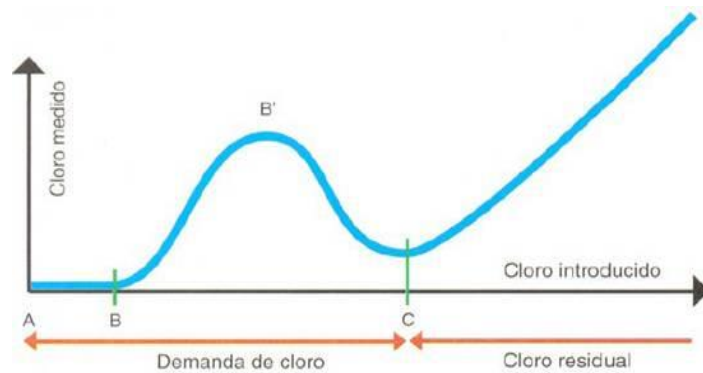


Figura 24. Curva de la demanda de cloro.