

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**“El tratamiento físico-química como metodología para  
control de contaminantes en aguas residuales  
en la Industria textil”**

**P O R:  
SOFIA ALTUNAR PABLO**

**MONOGRAFÍA**

**RESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

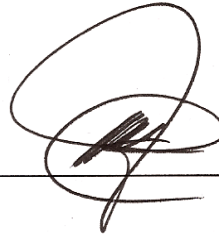
**Torreón, Coahuila**

**Marzo de 2014**

MONOGRAFÍA QUE SE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO  
EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO  
DE:  
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADO POR:

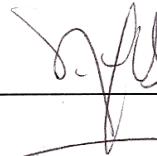
ING. JOEL LIMONES AVITIA  
PRESIDENTE DEL JURADO



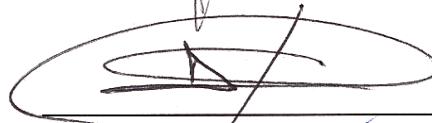
DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS.  
VOCAL



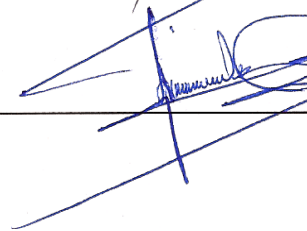
MC. NORMA L. ORTIZ GUERRERO.  
VOCAL



DR. ALFREDO OGAZ  
VOCAL SUPLENTE



DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN  
DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA

MARZO DE 2014

“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO”  
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

“El tratamiento físico-química como metodología para  
control de contaminantes en aguas residuales  
en la Industria textil”

MONOGRAFÍA QUE SE PRESENTA PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

POR:  
SOFÍA ALTUNAR PABLO

APROBADA POR EL H. CUERPO DE ASESORES

ING. JOEL LIMONES AVITIA  
ASESOR PRINCIPAL




---

DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS.  
ASESOR

Héctor Madina?

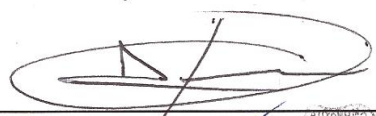
---

MC. NORMA L. ORTIZ GUERRERO.  
ASESOR



---

DR. ALFREDO OGAZ  
ASESOR SUPLENTE



---

DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN  
DE CARRERAS AGRONÓMICAS



---

Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA

MARZO DE 2014

## *DEDICATORIAS*

***A Dios:*** por guiar mis pasos en cada momento de mi vida, también por darme mucha sabiduría y fuerzas para salir adelante.

***A la Virgen de Guadalupe:*** por ser mi guía y mi fortaleza de seguir adelante.

***Al Ing. Joel limones Avitia:*** por darme la oportunidad de formar parte de su proyecto.

***Al Dr. Héctor Madinavetia Ríos:*** por su gran apoyo en las diferentes actividades del proyecto

***Al ing. Alfredo Ogas:*** por su apoyo

***Ing. Norma Leticia Ortiz Guerrero Gracias:*** por su amabilidad y apoyo en el desarrollo de este trabajo.

***Al Ing. Rolando Loza Rodríguez:*** por ser, un gran amigo y consejero. Gracias por su amabilidad y atención

***A mi Alma Mater:*** Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-UL, por abrirme las puertas y darme la oportunidad de formarme profesionalmente.

***A mis Maestros:*** por ser mis amigos, también por compartir sus grandes conocimientos y sabiduría en las clases.

***A mis amigos:*** María Florinda Hernández Altunar, Luisa Díaz Antonio, Ing. José Ángel Díaz, Isabel Blanco que siempre han sido mis mejores amigos en las buenas y en las malas. Gracias mis estimados.

## *Agradecimientos.*

### **A mis padres:**

María de Jesús Pablo Altunar, por ser mi madre y amiga por sus consejos y ejemplo a seguir siempre, también por su gran apoyo en estos largos años que han pasado, gracias Dios mío por cuidar siempre mi madre. A quien admiro y respeto. Y amo con toda el alma. Celedonio Altunar Juárez, por ser mi padre y por haber puesto su confianza en mí, hoy en día tengo una carrera por sus grandes esfuerzos, papa no sé cómo agradecerte.

### **A mis Hermano(as):**

Ing. Israel Altunar Pablo, que ha sido un gran hermano, aunque hay veces muy enojón pero siempre ha sido para mí un gran ejemplo, te quiero mucho carnal, gracias por tu apoyo hoy tengo una carrera.

Gloria Altunar Pablo y Roger Altunar Pablo que son mis hermanitos del alma con los que he convido días alegres, triste y de peleas, pero siempre juntos luchando por un bien para todos.

### **A mis primos:**

Rolando Altunar Altunar, José Saint AltunarAltunar, Alex Oliverio AltunarAltunar y Eric Rubicel Altunar Altunar, José Rubelio López Altunar por ser mis primos y mis amigos.

A Magdalena Mazariagoz Vásquez, por su gran apoyo durante la carrera por brindarme apoyo cuando más lo necesitaba. A quien admiro y respeto.

**A mis Abuelo(as):**

Domingo Hernández Altunar (†), Andrea Juárez Cruz, Francisco Pablo Tovilla (†), Nicolasa Altunar Pablo (†), que fueron mis grandes ejemplos a seguir, hoy en día Dios los tienen en la gloria.

## Contenido

<i>Agradecimientos</i> .....	ii
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo.....	3
2.1    Objetivo General.....	3
2.2    Objetivo específico.....	3
REVISION DE LITERATURA.....	4
3.1    EL AGUA.....	4
3.1.1    Ciclo del agua.....	6
3.1.2    Tipos de aguas.....	7
3.1.3    Otros tipos de aguas:.....	10
3.1.4    Usos del agua.....	11
3.1.5    Agua y salud.....	13
3.2    Purificación y tratamiento de las aguas residuales.....	14
3.2.1    Contaminación del agua.....	14
3.2.2    Aguas residuales industriales.....	15
3.2.3    Industrias textiles.....	17
3.2.4    Contaminantes orgánicos y biológicos.....	19
3.2.5    Contaminantes físico y químicos.....	19
3.2.6    Principales contaminantes del agua.....	20
3.3    Tipos de tratamientos de aguas residuales.....	21
3.3.1    Etapas del tratamiento de las aguas residuales.....	22
-Tamizado y microfiltración:.....	24
3.4.- Tratamientos Físicos de aguas residuales.....	33
3.4.1    Mezclado.....	34
- Mezcla completa de una sustancia con otra.....	34
- Mezcla de suspensiones líquidas.....	34
- Mezcla de líquidos miscibles.....	34
- Floculación.....	34
3.4.2    Purificación.....	35
4.- Plantas de paquete y reactores.....	38
4.1.    El déficit mundial del tratamiento.....	39
5.- Potenciales impactos ambientales.....	40
6.- Problemas socioculturales.....	42

7.- Tecnología apropiada.....	42
Bibliografía Citada .....	44



## **RESUMEN**

El agua es la más abundante e importante sustancia que el hombre utiliza, debido a las enormes cantidades que se requieren para las distintas aplicaciones que se le dan como son: el consumo doméstico, público, agrícola, industrial entre otros. También es el recurso natural más descuidado, afectado y desperdiciado debido a su relativa abundancia y a la facilidad con que es desechada, a esto le podemos sumar el poco o nulo tratamiento que se le da una vez que es utilizada; llevándose consigo una infinidad de materiales, sustancias, residuos, microorganismos y otros agentes contaminantes que deprecian la calidad del agua, convirtiéndose en un grave problema.

El continuo avance científico, tecnológico, social y cultural del ser humano, requiere de una capacidad cada vez mayor de comprender nuestro entorno que se vuelve más complejo y cambiante, siendo nosotros muchas veces los que intervenimos o propiciamos estos cambios ya sea de manera directa o indirecta pero siempre con el riesgo latente de vernos afectados por las consecuencias.

A pesar del interés y preocupación por la problemática, en la actualidad las fuentes de información y el acceso a ellas son pocas y limitadas.

**Palabras clave:** Agua,abundancia, problemática, riesgo, tratamiento.

## INTRODUCCIÓN

Para el hombre como para los demás seres vivos que habitan este planeta, el agua es una sustancia esencial tanto para sus funciones vitales como para prácticamente todas las actividades que rigen su vida, ahí yace la importancia de este preciado y vital líquido.

El agua cubre aproximadamente el 72% de la superficie del planeta Tierra y representa entre el 50 y el 90% de la masa de los seres vivos. Es una sustancia abundante, sin embargo, de toda la masa existente en el planeta una cantidad no mayor al 0.7% de esta se encuentra en forma de ríos y lagos que es donde cuenta regularmente con las condiciones tanto físicas como químicas más convenientes para su consumo ya sea para alimentación, higiene y las diversas actividades que el ser humano realiza como la agricultura y la industria, principalmente.

La constante necesidad del hombre por el uso de este recurso natural ha traído como consecuencia que grandes masa de agua se contaminen día a día, disminuyendo tanto la calidad como la cantidad de agua disponible para el consumo humano, esto aunado a la creciente población mundial, convierte a este fenómeno en un gran problema que se va agravando cada vez más.

Este problema traerá consigo un sinnúmero de consecuencias de dimensiones inimaginables para la humanidad y para los ecosistemas existentes, por la excesiva contaminación del agua y de otros muchos otros factores de similar importancias.

El tratamiento de las aguas residuales, es decir, las aguas que desecha el hombre, una vez que éstas han sufrido un cambio en su composición por la incorporación de materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales y muchos otros, es tan solo una de las respuestas a la

pregunta que tal ver para en algún momento nos hemos hechos, ¿qué podemos hacer para enfrentar este problema?

En la actualidad la mayor parte de las masas contaminadas de aguas residuales no tiene ningún tipo de tratamiento, simplemente se descargan en el lago, río o mar más cercano y se deja que los sistemas naturales se encarguen de lo demás; sin embargo la degradación de los desechos de forma natural ya no es suficiente para que el agua recobre las características necesarias para satisfacer nuestras cada vez más exigentes necesidades, debido a que nuestros desechos con cada vez mayores y su composición química es más compleja.

Los gobiernos de algunos países principalmente de los más desarrollados, se han dado a la tarea de investigar y llevar a cabo distintos tipos de tratamientos de agua para reducir los dañinos efectos que la contaminación ha ocasionado a este recurso.

El objetivo general de estos tratamientos es disminuir la cantidad de agentes contaminantes en las masas de agua, dependiendo no solo del tipo de contaminantes presentes en ellas, sino considerando el uso que se le dará nuevamente, una vez que el agua haya cumplido con el tratamiento adecuado.

Está por demás decir que el futuro del hombre está ligado estrictamente al uso de los recursos naturales que nuestro planeta tiene para ofrecernos y que el desarrollo así como la subsistencia de todos y cada uno de los países que conforman nuestro mundo depende del buen uso que cada uno les dé a éste y todos los demás elementos de los cuales es imposible prescindir.

## **Objetivo.**

### **2.1 Objetivo General.**

En la presente monografía, se pretende describir las principales características de las aguas residuales, los distintos tipos de tratamientos de éstas, de una manera sintetizada y fácil de comprender, proporcionando información útil a todos aquellos interesados en el tema, con el fin de que les ayude a tener un panorama más amplio de las prácticas y procesos que se realizan en los tipos de tratamiento de aguas residuales y que permita contar, con algunos fundamentos para poder elegir el tratamiento más adecuado para cada tipo de agua residual, dependiendo de las características de contaminación presentes en ellas.

### **2.2 Objetivo específico**

Determinar los pasos físicos-químicos, para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de las industrias, específicamente, de la industria textil. Por lo que se darán a conocer los equipos que interviene en el tratamiento de este tipo de aguas residuales.

## REVISION DE LITERATURA.

### 3.1 EL AGUA.

El agua es el elemento fundamental, prácticamente fuente de toda vida, constituyendo parte importante de todos los tejidos animales y vegetales, siendo necesaria como vehículo para el proceso de las funciones orgánicas, pero además es indispensable para toda una serie de usos humanos que proporcionan un mayor bienestar, desde la salud y la alimentación, hasta la industria y el esparcimiento. El agua se encuentra en la naturaleza en diversas formas y características, y cada una de ellas tiene su función dentro del gran ecosistema; el planeta tierra.

El agua es una sustancia cuya molécula está formada por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno (H<sub>2</sub>O). El agua es un líquido inodoro, incoloro e insípido. Es esencial para la supervivencia de todas las formas conocidas de vida. El agua se presenta mayormente en estado líquido, pero la misma puede hallarse en forma sólida (hielo), y en forma gaseosa que llamamos vapor.

El agua cubre el 71% de la superficie terrestre. El 96.5% se concentra en los océanos. Los glaciares y casquetes polares tienen el 1.74%. Los depósitos subterráneos, los permafrost y los glaciares continentales suponen el 1.72%. El restante 0,04% se reparte en orden decreciente entre lagos, la humedad del suelo, atmósfera, embalses, ríos y seres vivos.

(<http://www.fpolar.org.ve/quimica/fasciculo19.pdf+el+agua+en+el+mundo+fasciculo&hl=s&ct=clnk&cd=1&gl=mx>)

El agua es, con mucho, la sustancia sencilla más abundante en la biosfera. Los océanos, los casquetes polares, los glaciares, los lagos, los ríos, el mismo suelo y la atmósfera contienen agua en una forma u otra, hasta alcanzar, como se ha mencionado, 1,386 millones de kilómetros cúbicos. El agua es singular en casi

todas sus propiedades físicas o se encuentra en el extremo de un tipo de propiedades. Sus extraordinarias características físicas le confieren a su vez, propiedades químicas únicas. La importancia biológica del agua procede de estas características fisicoquímicas.

El agua se supone, según una teoría; tiene su origen en la mis formación de la tierra y según otra, que se formó a lo largo de los tiempos geológicos en reacciones internas de la tierra, expulsándose al exterior en los procesos eruptivos. En cualquiera de las dos teorías por escala humana podemos considerar que estas aguas se mantiene prácticamente constante a lo largo del tiempo, estando sometidas a un ciclo hidrológico, donde la radiación solar es la fuente de energía que las hace funcionar.

([http://www.agua-viv-info/es/aufsaetze\\_3\\_htm](http://www.agua-viv-info/es/aufsaetze_3_htm))

Tabla 1. Distribución global del agua. Principales cuerpos de agua existentes en el planeta.

Situación del agua	Volumen en km <sup>3</sup>		Porcentaje	
	Agua dulce	Agua salada	de agua dulce	de agua total
Océanos y mares	-	1.338.000.000	-	96,5
Casquetes y glaciares polares	24.064.000	-	68,7	1,74
Agua subterránea salada	-	12.870.000	-	0,94
Agua subterránea dulce	10.530.000	-	30,1	0,76
Glaciares continentales y Permafrost	300	-	0,86	0,022
Lagos de agua dulce	91	-	0,26	0,007
Lagos de agua salada	-	85.4	-	0,006
Humedad del suelo	16.5	-	0,05	0,001
Atmósfera	12.9	-	0,04	0,001
Embalses	11.47	-	0,03	0,0008
Ríos	2.12	-	0,006	0,0002
Agua biológica	1.12	-	0,003	0,0001
<b>Total agua dulce</b>	<b>35.029.110</b>		<b>100</b>	<b>-</b>
<b>Total agua en la tierra</b>	<b>1.386.000.000</b>		<b>-</b>	<b>100</b>

La historia muestra que las civilizaciones primitivas florecieron en zonas favorables a la agricultura, como las cuencas de los ríos.

Muchas grandes ciudades, como Rotterdam, Londres, Montreal, París, Nueva York, Buenos Aires, Shanghái, Tokio, Chicago o Hong Kong deben su riqueza a la conexión con alguna gran vía de agua que favoreció su crecimiento y su prosperidad.

Del mismo modo, áreas en las que el agua es muy escasa, como el norte de África o el Oriente Medio, han tenido históricamente dificultades de desarrollo.

(<http://www.mgar.net/nar/agua.htm>.)

### **3.1.1 Ciclo del agua.**

Con ciclo del agua -conocido científicamente como el ciclo hidrológico- se denomina al continuo intercambio de agua dentro de la hidrosfera, entre la atmósfera, el agua superficial y subterránea y los organismos vivos. El agua cambia constantemente su posición de una a otra parte del ciclo de agua, implicando básicamente los siguientes procesos físicos:

El agua circula constantemente en un ciclo de evaporación o transpiración (evapotranspiración), precipitación, y desplazamiento hacia el mar. Los vientos transportan tanto vapor de agua como el que se vierte en los mares mediante su curso sobre la tierra, en una cantidad aproximada de 45.000 km<sup>3</sup> al año. En tierra firme, la evaporación y transpiración contribuyen con 74.000 km<sup>3</sup> anuales a causar precipitaciones de 119.000 km<sup>3</sup> al año.

Proceso del ciclo hidrológico. Los principales procesos implicados en el ciclo del agua son: evaporación, precipitación, filtración y escorrentía. Para que el agua pase del estado sólido a líquido y posteriormente a vapor se requiere suministrarle

energía térmica, mientras que al proceso inverso de vapor a agua líquida y a hielo, el agua debe entregar calor al medio (<http://www.usal.es.com/javisan/hidro>).



Figura 1 Representación del ciclo hidrológico, donde se presentan los diferentes estados del agua, así como las etapas de filtración, evaporación, precipitación y escorrentía.

### 3.1.2 Tipos de aguas

Existen diferentes tipos de agua, de acuerdo a su procedencia y uso:

**Agua potable.** Es el agua que puede ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades. Se denomina agua potable al agua “bebible” en el sentido que puede ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades. El término se aplica al agua que ha sido tratada para su consumo humano según estándares de calidad determinados por las autoridades locales e internacionales. Para asegurar su calidad se han establecido valores



máximos y mínimos para el contenido en minerales y diferentes iones como cloruros, nitratos, nitritos, amonio, claco, magnesio, fosfato, arsénico, etc. Además de los gérmenes patógenos. El pH del agua debe estar entre 6.5 y 8.5

Las causas de la no potabilidad del agua son:

- Bacterias, virus.
- Minerales (en forma de partículas o disueltos), productos tóxicos.
- Depósitos o partículas en suspensión.

([http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Agua\\_potable&oldid=16476481](http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Agua_potable&oldid=16476481))

**Agua salada.** El agua salada es aquella en la que la concentración de sales es alta. (más de 10,000 mg/l). El agua de mar es la que se puede encontrar en los océanos y mares de la tierra. Es salada por la concentración de sales minerales que contiene, un 3.5% como media, entre las que predomina el cloruro sódico, también conocido como sal de mesa.

El agua de mar es una disolución en agua de muy diversas sustancias. Hasta las dos terceras partes de los elementos químicos naturales están presentes en el agua de mar, aunque la mayoría solo como trazas. Seis componentes, todos ellos iones, dan cuenta de más del 99% de la composición de solutos. El agua es buena conductora de la electricidad por la unión de sus moléculas y la fácil ionización por las partículas salinas.

La salinidad presenta variaciones cuando se comparan las cuencas, las distintas latitudes o las diferentes profundidades. Favorece a una salinidad más elevada la evaporación más intensa propia de las latitudes tropicales, sobre todo en la superficie y, una menor en la proximidad de la desembocadura de ríos caudalosos y las precipitaciones elevadas. ([http://www.wikipedia.org/wiki/Agua\\_de\\_mar](http://www.wikipedia.org/wiki/Agua_de_mar))

**Agua dulce.** Es agua que contiene cantidades mínimas de sales disueltas, especialmente cloruro sódico, distinguiéndose así del agua salada (agua de mar). El agua dulce está contenida en gran parte de las aguas continentales y subterráneas, principalmente. ES agua natural con una concentración de sales adecuada, previo tratamiento, para producir agua potable.

([http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Agua\\_dulce&oldid=16282729](http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Agua_dulce&oldid=16282729))

**Agua dura.** En química el agua dura es aquella que posee una dureza superior de 120 mg de carbonato de calcio por litro ( $\text{CaCO}_3/\text{Lto}$ ). Es decir que contiene un alto nivel de minerales, en particular carbonatos de magnesio y calcio y sulfatos principalmente de sulfuros, azufre y hierro, que lleva en si un tanto del óxido rojizo. Son estas las causantes de la dureza del agua y el grado de dures es directamente proporcional a la concentración de sales metálicas. Su dureza está determinada por la cantidad de calcio y magnesio presentes. El jabón generalmente no se disuelve en las aguas duras.

El agua dura no produce espuma con el jabón, más aun, es bien empleada en el uso cotidiano incluyendo el consumo, aunque no tenga la nitidez del agua purificada, por consiguiente, el agua dura, dependiendo de los niveles de minerales tiene sabor y puede ser ligeramente turbia. El agua dura puede volver a ser blanda con el agregado de carbonato de sodio o potasio, para precipitarlo como sales de carbonato o por medio de intercambio iónico con salmuera en presencia de zeolita o resinas sintéticas.

([http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Agua\\_dura&oldid=16137497](http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Agua_dura&oldid=16137497))

**Aguas negras.** El termino agua negra, más comúnmente utilizado en plural, aguas negras, define un tipo de agua que está contaminada con sustancias fecales y orina, procedentes de desechos orgánicos humanos o animales. Su importancia es tal que requiere sistemas de canalización, tratamiento y desalojo. Su tratamiento nulo o indebido genera graves problemas de contaminación.

Se le denomina negras por el color que habitualmente tiene y, cloacales porque son transportadas mediante cloacas (alcantarillas), nombre que se le da habitualmente al colector.

Las aguas negras están constituidas por todas aquellas aguas de desecho de una comunidad después de haber sido contaminada por una combinación de residuos líquidos o en suspensión de tipo doméstico, municipal e industrial, junto con las aguas subterráneas, superficiales y de lluvia que puedan estar presentes.

([http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Aguas\\_negras&oldid=16312989](http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Aguas_negras&oldid=16312989))

**Aguas grises.** Las aguas grises o aguas residuales son las aguas generadas por los usos domésticos, tales como el lavado de utensilios y de ropa, así como el baño de las personas. Las aguas grises se distinguen de las cloacales contaminadas con desechos del retrete porque contiene bacterias *Escherichiacoli*. Las aguas grises son de vital importancia, porque pueden ser de mucha utilidad en el campo del regadío ecológico.

Las aguas grises generalmente se descomponen más rápido que las aguas negras y tiene mucho menos nitrógeno y fosforo. Sin embargo, las aguas grises contienen algún porcentaje de aguas negras, incluyendo patógenos de varias clases. Son aguas domésticas residuales compuestas por agua de lavar procedente de la cocina, cuarto de baño, aguas de los fregaderos, y lavaderos.

([http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Aguas\\_grises&oldid=15386313](http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Aguas_grises&oldid=15386313))

### **3.1.3 Otros tipos de aguas:**

**Aguas residuales.** Fluidos residuales en un sistema de alcantarillado originados por una comunidad.

**Agua estancada.** Agua inmóvil en determinadas zonas de un río, lago, estanque o acuífero.

**Agua freática.** Agua subterránea que se presenta en la zona de saturación y que tiene una superficie libre.

**Agua subterránea.** Agua que puede ser encontrada en la zona saturada del suelo, zona que consiste principalmente en agua. Se mueve lentamente desde lugares con alta elevación y presión hacia lugares de baja elevación y presión, como los ríos y lagos.

**Agua superficial.** Toda agua natural abierta a la atmósfera, concerniente a ríos, lagos, reservorios, charcas, corrientes, océanos, mares, estuarios y humedal. ([http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=aguas\\_oldid](http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=aguas_oldid)).

#### **3.1.4 Usos del agua.**

El hombre ha utilizado el agua no solo para su consumo, sino con el paso del tiempo, para su comodidad y confort, convirtiendo las aguas usadas en vehículo de desechos. De aquí surge la denominación de aguas residuales. La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido como uno de los derechos fundamentales de todo ser humano “El disfrute del grado máximo de salud posible”. Considera la salud como un “estado complejo de bienestar físico, mental y social” y fija el nivel de salud por el grado de armonía que existe entre el hombre y el medio que sirve de escenario a su vida. Por lo anterior el uso que damos al agua, es el siguiente:

- ❖ **Consumo doméstico.** Comprende el consumo de agua en nuestra alimentación, en la limpieza de nuestras viviendas, en el lavado de ropa, la higiene y el aseo personal...

- ❖ **Consumo público.** En la limpieza de las calles de ciudades y pueblos, en las fuentes públicas, ornamentación, riego de parques y jardines, otros usos de interés comunitario, etc..
- ❖ **Uso en agricultura y ganadería.** En agricultura, para el riego de los campos. En ganadería, como parte de la alimentación de los animales y en la limpieza de los establos y otras instalaciones dedicadas a la cría de ganado.
- ❖ **El agua en la industria.** En las fábricas, en el proceso de fabricación de productos, en los talleres, en la construcción...
- ❖ **El agua, fuente de energía.** Aprovechamos el agua para producir energía eléctrica (en centrales hidroeléctricas situadas en los embalses de agua). En algunos lugares se aprovecha la fuerza de la corriente de agua de los ríos para mover máquinas (molinos de agua, aserraderos...)
- ❖ **El agua, como vía de comunicación.** Desde muy antiguo, el hombre aprendió a construir embarcaciones que le permitieron navegar por las aguas de mares, ríos y lagos. En nuestro tiempo, utilizamos enormes barcos para transportar las cargas más pesadas que no pueden ser transportadas por otros medios.
- ❖ **Deporte, ocio y agua.** En los ríos, en el mar, en las piscinas y lagos, en la montaña, practicamos un gran número de deportes: vela, submarinismo, windsurf, natación, esquí acuático, waterpolo, patinaje sobre hielo, jockey.

Además pasamos parte de nuestro tiempo libre disfrutando del agua en las piscinas, en la playa, en los parques acuáticos o simplemente, contemplando y sintiendo la belleza del agua en los ríos, las cascadas, los arroyos, las olas del mar, las montañas nevadas (López P., S.J.1997).

### **3.1.5 Agua y salud.**

En los últimos años el deterioro que ha venido sufriendo el medio ambiente ha hecho que una luz de alerta se encienda para los gobiernos de los países más desarrollados, los que han empezado a prestar atención a este fenómeno de degradación que puede convertirse en uno de los principales flagelos del fin de siglo.

Muy pocas personas -médicos y autoridades sanitarias incluidas- son realmente conscientes de la importancia que tiene el agua para la salud. Y, sin embargo, es absolutamente vital. Mucho más de lo que inmensa mayoría de la gente pueda siquiera sospechar. Al punto de que muchas de las actuales enfermedades podrían evitarse simplemente bebiendo agua viva y estructurada en lugar de esa agua muerta, desestructurada y a veces contaminada -incluyendo la que lleva cloro parte de las aguas minerales que se comercializan hoy día.

De las 37 enfermedades más comunes entre la población de América Latina, 21 están relacionadas con la falta de agua y con agua contaminada. En todo el mundo estas enfermedades representan 25 millones de muertes anuales.(Guardado, J. A. 1990).

Las enfermedades transmitidas por medio del agua contaminada pueden originarse por agua estancada con criadero de insectos, contacto directo con el agua, consumir agua contaminada microbiológica o químicamente y usos inadecuados del agua. Las enfermedades transmitidas por medio de aguas contaminadas, insectos y bacterias son: cólera, tifoidea y paratifoidea, disentería bacilar y amebiana, diarrea, hepatitis infecciosa, parasitismo, filariasis, malaria, tripanosomiasis, oncocercosis, schistosomiasis, tracoma, conjuntivitis y ascariasis; entre otras. El agua de piscina también puede transmitir enfermedades como pie de atleta, garganta séptica, infecciones del oído y ojos.

La enfermedad transmitida, los síntomas y su tratamiento dependen del tipo de microorganismo presente en el agua y de su concentración (Ramos, A. y Salazar, M. 1989).

### **3.2 Purificación y tratamiento de las aguas residuales.**

#### **3.2.1 Contaminación del agua.**

La contaminación de las aguas es uno de los factores importantes que rompe la armonía entre el hombre y su medio, tanto a corto, como a mediano y largo plazo, por lo que la prevención y lucha contra ella constituye en la actualidad una necesidad de importancia prioritaria.

Según el origen se considera que la contaminación es de dos tipos:

- a) La contaminación producida por causas naturales o geoquímicas y que generalmente no está influenciada por el hombre, y
- b) La contaminación provocada por las actividades del hombre y se le llama contaminación antropogénica.

Los contaminantes más frecuentes de las aguas son: materias orgánicas y bacterias, hidrocarburos, desperdicios industriales, productos pesticidas y otros utilizados en la agricultura, productos químicos domésticos y desechos radioactivos. Lo más grave es que una parte de los derivados del petróleo son arrojados al mar por los barcos o por las industrias ribereñas y son absorbidos por la fauna y flora marinas que los retransmiten a los consumidores de peces, crustáceos, moluscos, algas, etc.

Los contaminantes en forma líquida provienen de las descargas de desechos domésticos, agrícolas e industriales en las vías acuáticas, de terrenos de alimentación de animales, de terrenos de relleno sanitario, de drenajes de minas y de fugas de fosas sépticas. Estos líquidos contienen minerales disueltos, desechos humanos y de animales, compuestos químicos sintéticos y materia coloidal y en suspensión. Entre los contaminantes sólidos se encuentran arena, arcillas, tierra, cenizas, materia vegetal agrícola, grasas, brea, papel, hule, plásticos, madera y metales (Organización Mundial de la Salud. OMS, 1989).

### **3.2.2 Aguas residuales industriales.**

Las aguas residuales industriales son aquellas que proceden de cualquier actividad o negocio en cuyo proceso de producción, transformación o manipulación se utilice el agua. Son enormemente variables en cuanto a caudal y composición, difiriendo las características de los vertidos, no solo de una industria a otra, sino también dentro de un mismo tipo de industria. Estas son más contaminantes que las aguas residuales urbanas, además, con una contaminación mucho más difícil de eliminar.

A veces, las industrias no emiten vertidos de forma continua, sino únicamente en determinadas horas del día o incluso únicamente en determinadas épocas del año, dependiendo del tipo de producción y del proceso industrial. También son habituales las variaciones de caudal y carga a lo largo del día. Su alta carga unida a la enorme variabilidad que presentan, hacen que el tratamiento de las aguas residuales industriales sea complicado, siendo preciso un estudio específico para cada caso (Romero, 1999).

La gran variedad y cantidad de productos que se vierten, obliga a una investigación propia para cada tipo de industria. No existe similitud entre los vertidos de actividades industriales, como son alimentación, química, petroquímica, agrícola, forestal, minerales y metalúrgicas.



Las industrias se pueden clasificar en cinco grupos de acuerdo con los contaminantes específicos que arrastran las aguas residuales (Noyola, A. 1989).

Las industrias con efluentes principalmente orgánicos son (Grupo 1):

- Papeleras.
- Azucareras.
- Mataderos.
- Curtidos
- Conservas (vegetales, carnes, pescado, etc.)
- Lecherías y subproductos (leche en polvo, mantequilla, queso, etc.)
- Fermentación (fabricación de alcoholes, levaduras, etc.)
- Preparación de productos alimenticios (aceites y otros)
- Bebidas
- Lavanderías

Industrias con efluentes orgánicos e inorgánicos (Grupo 2):

- Refinerías y petroquímicas.
- Coquerías
- Textiles
- Fabricación de productos químicos, varios.

Industrias con efluentes principalmente inorgánicos (Grupo 3):

- Limpieza y recubrimiento de metales
- Explotaciones mineras y salinas
- Fabricación de productos químicos inorgánicos

Industrias con efluentes con materias en suspensión (Grupo 4):

- Lavaderos de mineral y carbón
- Corte y pulido de mármol y otros minerales
- Laminación en caliente y colada continua

Industrias con efluentes de refrigeración (Grupo 5):

- Centrales térmicas
- Centrales nucleares

### **3.2.3 Industrias textiles.**

Los vertidos de las fábricas textiles dependen del tipo de proceso a los que se someten los distintos materiales empleados en la empresa textil. Podemos dividir las materias primas en tres grandes grupos: lana, algodón y fibras químicas.

Industria de Lana.- La contaminación de los vertidos de la lana, proviene de los procesos siguientes:

- Desengrasado.
- Tintura.
- Engrasado o enzimado.
- Batanado.
- Carbonizado
- Lavado
- Aprestado.

El desengrasado se realiza con soluciones que contienen detergente y el carbonato sódico, como compuesto para alcalinizar la solución. Un elevado porcentaje de impurezas naturales de la lana se elimina en este proceso; en consecuencia se debe esperar vertidos que contendrán fuertes concentraciones de carbonato sódico, detergentes, grasa en emulsión y sales minerales en suspensión y totales. Según algunos estudios realizados, el 40% en peso de la lana bruta corresponde a impurezas, que contaminarán el agua de lavado.

Un proceso importante en el lavado de la lana, es la recuperación de la grasa de tal forma que una centrifugación primaria (desfangadora), seguida de una

centrifugación secundaria (deshidratadora), consigue una recuperación de grasas del 4% sobre lana grabada.

Los vertidos procedentes de la tintura contendrán la solución colorante, generalmente contiene ácido acético- acetato sódico y, pueden contener según el sistema de tintura, dicromato sódico, sulfato amónico, sulfato sódico y monoclorobenceno. La DBO de estos efluentes, así como los sólidos totales en suspensión es pequeña.

Antes de que el tejido entre a la sección de acabado, puede someterse a un lavado, cuyos vertidos generalmente no están excesivamente contaminados (Muñoz C. A., 2008).

Industrias del algodón.- El algodón se descrua en calderas para eliminar las impurezas naturales, se blanquea, se tiñe y finalmente se enzima. Los vertidos del desengomado contendrán una DBO elevada, son generalmente neutros y su contenido en sólidos es elevada. El descruado se realiza con varios procedimientos y se emplean como reactivos más importantes el hidróxido sólido, el carbonato sódico y detergentes. En consecuencia, los vertidos tendrán una alta alcalinidad, elevada DBO, un contenido en sólidos elevado y alta temperatura. El blanqueo se realiza principalmente con hipoclorito sódico, clorito sódico o agua oxigenada. Los vertidos serán alcalinos, elevada DBO y gran contenido en sólidos.

Según estudios realizados, en una industria de acabado de algodón el 16% del volumen total de vertidos producidos corresponden al desengomado con una aportación del 53% de la DBO total. Un 36% de los sólidos totales y un 6% de la alcalinidad total.

El descruado produce un 19% del volumen total, con un aporte del 37% de la DBO total, un 43% de sólidos totales y un 60% de la alcalinidad total. Los demás

procesos producen el 65% del volumen total, con un aporte del 10% de la DBO, un 21% de sólidos totales y un 34% de la alcalinidad total (Muñoz C. A., 2008).

#### **3.2.4 Contaminantes orgánicos y biológicos.**

Los contaminantes orgánicos también son compuestos disueltos o dispersos en el agua que provienen de desechos domésticos, agrícolas, industriales y de la erosión del suelo. Son desechos humanos y animales, de rastros o mataderos, de procesamiento de alimentos para humanos y animales, diversos productos químicos industriales de origen natural como aceites, grasas, breas y tinturas, y diversos productos químicos sintéticos como pinturas, herbicidas, insecticidas, etc. Los contaminantes orgánicos consumen el oxígeno disuelto en el agua y afectan a la vida acuática (eutrofización).

Las concentraciones anormales de compuestos de nitrógeno en el agua, tales como el amoníaco o los cloruros se utilizan como índice de la presencia de dichas impurezas contaminantes en el agua.

Contaminantes biológicos. Incluyen hongos, bacterias y virus que provocan enfermedades, algas y otras plantas acuáticas. Algunas bacterias son inofensivas y otras participan en la degradación de la materia orgánica contenida en el agua. Ciertas bacterias descomponen sustancias inorgánicas. La eliminación de los virus que se transportan en el agua es un trabajo muy difícil y costoso. (Materassi R., *et al.* 1980).

#### **3.2.5 Contaminantes físico y químicos.**

Contaminantes físicos. Afectan el aspecto del agua y cuando flotan o se sedimentan interfieren con la flora y fauna acuáticas. Son líquidos insolubles o sólidos de origen natural y diversos productos sintéticos que son arrojados al agua

como resultado de las actividades del hombre, así como, espumas, residuos oleaginosos y el calor (contaminación térmica).

Contaminantes químicos. Incluyen compuestos orgánicos e inorgánicos disueltos o dispersos en el agua. Los contaminantes inorgánicos son diversos productos disueltos o dispersos en el agua que provienen de descargas domésticas, agrícolas e industriales o de la erosión del suelo. Los principales son cloruros, sulfatos, nitratos y carbonatos. También desechos ácidos, alcalinos y gases tóxicos disueltos en el agua como los óxidos de azufre, de nitrógeno, amoníaco, cloro y sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico). Gran parte de estos contaminantes son liberados directamente a la atmósfera y bajan arrastrados por la lluvia. Esta lluvia ácida, tiene efectos nocivos que pueden observarse tanto en la vegetación como en edificios y monumentos de las ciudades industrializadas (Valdés, J. M., *et al*, 1990)

### **3.2.6 Principales contaminantes del agua.**

Contaminantes orgánicos demandantes de oxígeno. Aguas residuales domésticas, estiércol, residuos alimenticios y algunos residuos industriales.

Compuestos orgánicos refractarios.

Plaguicidas, plásticos, detergentes, residuos industriales y aceites.

Iones inorgánicos. Ácidos, sales, metales tóxicos y nutrientes vegetales.

Sedimentos. Cenizas, arenas, gravillas y otros sólidos provenientes de la erosión de los suelos.

Material radiactivo. Residuos de nucleoelectricas y medicina nuclear.

Organismos patógenos. Bacterias y virus.

Maleza acuática. Lirios, algas y otros vegetales.

La acumulación de contaminantes en los lagos, ríos y mares provoca diferentes efectos en sus características físicas, químicas y biológicas de diferente manera, en casos como los de algunas partículas sedimentables o de colores sus efectos son limitados o de pocas consecuencias y en otros casos como el cambio de temperatura o putrefacción de materia orgánica causa efectos dañinos transitorios pero severos.

La putrefacción de la materia orgánica en el agua produce una disminución de la cantidad de oxígeno (la cual es evaluada mediante la Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO) que causa graves daños a la flora y fauna acuática, pero que desaparece al término del proceso de putrefacción.

([http://www.teorema.com.mx/articulso.php?id\\_sec=42&id\\_art=1542](http://www.teorema.com.mx/articulso.php?id_sec=42&id_art=1542))

### **3.3 Tipos de tratamientos de aguas residuales.**

En ingeniería ambiental el termino tratamiento de aguas residuales es el conjunto de operaciones unitarias compuesto por procesos físicos, químicos y biológicos, los cuales tratan y eliminan contaminantes físicos, químicos y biológicos del agua efluente del uso humano. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia (o efluente tratada) o reutilizable en el ambiente y un residuo sólido o fango también convenientes para futuros propósitos o recursos. Es muy común llamarlo depuración de aguas residuales para distinguirlo del tratamiento de aguas potables.

Las aguas residuales son generadas por residencias, instituciones y locales comerciales e industriales. Éstas pueden ser tratadas dentro del sitio en el cual son generadas (por ejemplo: tanques sépticos u otros medios de depuración) o bien pueden ser recogidas y llevadas mediante una red de tuberías - y

eventualmente bombas - a una planta de tratamiento municipal. Los esfuerzos para coleccionar y tratar las aguas residuales domésticas de la descarga están típicamente sujeta a regulaciones y estándares locales, estatales y federales (regulaciones y controles). A menudo ciertos recursos industriales de aguas residuales requieren procesos de tratamiento especializado.

El tratamiento de las aguas residuales es un proceso complejo, exige un importante esfuerzo para la evaluación de las necesidades de depuración, tales como la caracterización de las aguas residuales. Esto último se logra a partir de diversas mediciones físicas, químicas y biológicas, entre las cuales se incluyen la determinación del contenido en sólidos, la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno y el pH.

Puede considerarse que solamente en los últimos años el diseño de las plantas depuradoras de aguas ha evolucionado de ser meramente empírico a tener una sólida base científica. Además, la investigación fundamental en nuevos procesos de tratamiento tales como osmosis inversa y electrodiálisis solo recientemente se han convertido en algo verdaderamente accesible.

(<http://www.monografias.com/trabajos12/contagua/contagua.shtml>.)

### **3.3.1 Etapas del tratamiento de las aguas residuales.**

Los métodos que se emplean para tratar el agua dependen, en gran parte, del fin a que se destina el abastecimiento. Por ejemplo, para uso doméstico es esencial eliminar cualquier impureza y bacterias, ya que pueden ser perjudiciales para la salud del consumidor.

Con la excepción de aguas subterráneas puras concretas, todas las aguas suministradas requieren de unapurificación. Aunque en teoría el agua más sucia se puede purificar hasta calidad de agua potable, en la práctica es muy difícil.

La naturaleza posee un proceso de autopurificación de todas las aguas que han sido contaminadas, pero la velocidad de esta actividad es muy baja y además depende de la naturaleza y cantidad de material contaminante. Por esto se han diseñado plantas de tratamiento de aguas en las que se realizan los siguientes procesos: Tamizado primario, almacenamiento, tamizado y microfiltración, aireación, coagulación, floculación, clarificación, filtración y desinfección. Aunque la selección de los procesos unitarios necesarios depende de la calidad del agua final requerida y la limpieza del agua bruta que entra en la planta.

-Tamizado primario:

Las plantas de tratamiento raramente se encuentran próximas a los puntos de agua, excepto donde se practica una captación directa, por lo que debe de ser conducida por un gran número de kilómetros a través de tuberías y de canales abiertos. Esa agua bruta debe de pasar por unos tamices gruesos para eliminar los sólidos que han caído al agua durante su transporte.

La finalidad de este proceso es evitar que las tuberías se bloqueen y las bombas se dañen.

-Almacenamiento:

El agua bruta se bombea desde la toma a un embalse, donde se almacena para así mejorar la calidad antes del tratamiento y para asegurar suministros adecuados en los períodos de máxima demanda. Hay varios procesos naturales que actúan durante el almacenamiento que mejoran la calidad del agua. El proceso de filtración es efectivo cuando la concentración de sólidos es menor de 10 mg/l. La radiación ultravioleta es otro proceso natural que destruye las bacterias nocivas y algunos organismos patógenos.



También se puede conseguir aclarar el color por la luz solar y algunas impurezas orgánicas causantes de los problemas de sabor y olor son oxidadas en las zonas superiores del depósito. La dureza se puede reducir por la liberación de dióxido de carbono que realizan las algas durante el verano, convirtiendo así los bicarbonatos en carbonatos que precipitan.

-Tamizado y microfiltración:

Antes del tratamiento es esencial realizar una nueva filtración, pero esa con un tamiz más fino. Los microfiltros consisten en tambores de acero inoxidable de malla fina, hasta con 25.000 orificios en un  $\text{cm}^2$  que está parcialmente inmerso en agua. Conforme rota, la diferencia de altura hace que el agua atraviese la micromalla.

El agua no filtrada posee una alta concentración de todas las partículas filtradas, algas; esta agua de lavado necesita ser tratada de forma separada. Hay evidencias que muestran que tales aguas pueden ser potencialmente ricas en patógenos, especialmente quistes y quistes de protozoos.

-Aireación:

El agua de las fuentes de agua subterráneas, del fondo de los lagos o embalses, ríos contaminados posee una concentración de oxígeno disuelto muy baja. Lo que afecta o daña otras unidades de proceso, en particular la filtración y la coagulación. Por esto el agua bruta necesita ser aireada antes del tratamiento posterior. Esto se puede conseguir de varias maneras, mediante aireadores por gravedad, aireadores de boquillas, difusores, y aireadores mecánicos. (Feijin, A., *et al*, 1991).

Los aireadores por gravedad pueden ser de cascada, de planos inclinados, de columnas verticales y de canales perforados. En el método de cascada, que es el más importante de los aireadores por gravedad, el agua se vierte por una estructura de torre, que asegura la aireación por la excesiva turbulencia. La presión del agua forzada a salir del depósito por el peso del agua que está por encima hace que la fuente de agua se pulverice en el aire, por lo que para reducir las pérdidas por evaporación estos surtidores se pueden cubrir parcialmente.

Otro método muy eficaz es el de usar aspersores por medio de los cuales el agua se pulveriza en la atmósfera, hasta formar una neblina o gotas muy pequeñas.

La mayor parte de difusores de aire o aireadores de inyección barbotan aire comprimido dentro del agua a través de orificios colocados en tuberías. Las burbujas ascendentes adquieren velocidades terminales menores de las que alcanzarían gotas de agua si cayesen libremente. Esto incrementa el tiempo de exposición de las burbujas al aire y reduce la turbulencia.

La finalidad de este proceso es asegurar un óptimo tratamiento en la planta, y además suministrar oxígeno, lo que incrementa la calidad del agua, especialmente el sabor y el olor. También se reduce la corrosividad del agua por la eliminación de cualquier gas de dióxido de carbono presente, por la elevación del pH. La aireación no es suficiente para reducir las propiedades corrosivas de las aguas ácidas, por lo que debe de ser necesaria una neutralización con cal.

La introducción de oxígeno constituye la primera etapa en el proceso de eliminación del hierro y manganeso por filtración. Estos metales solamente son solubles en aguas pobres de oxígeno y a pH inferior a 6,5.

El control de laboratorio del proceso de aireación consiste en llevar a cabo determinaciones de la concentración del oxígeno disuelto, del bióxido de carbono y del ácido sulfhídrico, así como del pH. Si la concentración del oxígeno disuelto es de 7 a 10 ppm, la del bióxido de carbono es de 3 a 5 ppm y no hay ácido sulfhídrico, el proceso de aeración puede calificarse como eficaz. (Hernández M. A.; *et al*, 1996).

### 3.3.1.1 Tratamiento primario.

El tratamiento primario es para reducir aceites, grasas, arenas y sólidos gruesos. Este paso está enteramente hecho con maquinaria, de ahí conocido también como tratamiento mecánico.

**Remoción de sólidos:** En el tratamiento mecánico, el afluente es filtrado en cámaras de rejillas para eliminar todos los objetos grandes que son depositados en el sistema de alcantarillado. Este tipo de basura se elimina porque esto puede dañar equipos sensibles en la planta de tratamiento de aguas residuales, además los tratamientos biológicos no están diseñados para tratar sólidos.

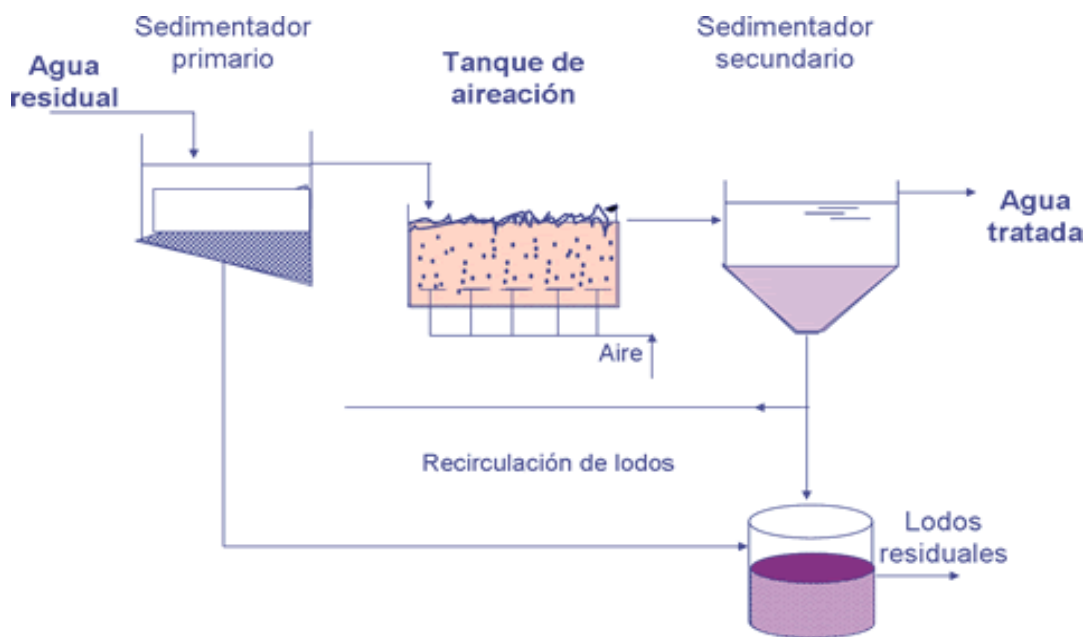


Figura 1.- Diagrama de flujo de un sistema de tratamiento de aguas residuales, donde se pueden observar los pasos principales, como sedimentación primaria, tanque de aireación, sedimentador secundario y la generación de lodos residuales, que posteriormente pueden convertirse en lodos activados.

**Remoción de arena:** Esta etapa (también conocida como escaneo o maceración) típicamente incluye un canal de arena donde la velocidad de las aguas residuales es cuidadosamente controlada para permitir que la arena y las piedras de ésta tomen partículas, pero todavía se mantiene la mayoría del material orgánico con el flujo. Este equipo es llamado colector de arena. La arena y las piedras necesitan ser quitadas a tiempo en el proceso para prevenir daño en las bombas y otros equipos en las etapas restantes del tratamiento.

**Tamizado:** El líquido libre de abrasivos es pasado a través de pantallas arregladas o rotatorias para remover material flotante y materia grande como trapos; y partículas pequeñas como chícharos y maíz.

**Sedimentación:** Muchas plantas tienen una etapa de sedimentación donde el agua residual se pasa a través de grandes tanques circulares o rectangulares. Estos tanques son comúnmente llamados clarificadores primarios o tanques de sedimentación primarios. Los tanques son lo suficientemente grandes, tal que los sólidos fecales pueden situarse y el material flotante como la grasa y plásticos pueden levantarse hacia la superficie y desnatarse. El propósito principal de la etapa primaria es producir generalmente un líquido homogéneo capaz de ser tratado biológicamente y unos fangos o lodos que puede ser tratado separadamente. Los tanques primarios de establecimiento se equipan generalmente con raspadores conducidos mecánicamente que llevan continuamente los fangos recogido hacia una tolva en la base del tanque donde mediante una bomba puede llevar a éste hacia otras etapas del tratamiento. (Moreno, J., 1997).

### 3.3.1.2 Tratamiento secundario.

El tratamiento secundario es designado para substancialmente degradar el contenido biológico de las aguas residuales que se derivan de la basura humana, basura de comida, jabones y detergentes. La mayoría de las plantas municipales e industriales trata el licor de las aguas residuales usando procesos biológicos aeróbicos. Para que sea efectivo el proceso biótico, requiere oxígeno y un substrato en el cual vivir. Hay un número de maneras en la cual esto está hecho. En todos estos métodos, las bacterias y los protozoarios consumen contaminantes orgánicos solubles biodegradables (por ejemplo: azúcares, grasas, moléculas de carbón orgánico, etc.) y unen muchas de las pocas fracciones solubles en partículas de flóculo.

**Desbaste:** Consiste habitualmente en la retención de los sólidos gruesos del agua residual mediante una reja, manual o autolimpiante, o un tamiz, habitualmente de menor paso o luz de malla. Esta operación no sólo reduce la carga contaminante del agua a la entrada, sino que permite preservar los equipos como conducciones, bombas y válvulas, frente a los depósitos y obstrucciones provocados por los sólidos, que habitualmente pueden ser muy fibrosos: tejidos, papeles, etc. Los filtros de desbaste son utilizados para tratar particularmente cargas orgánicas fuertes o variables, típicamente industriales, para permitirles ser tratados por procesos de tratamiento secundario. Son filtros típicamente altos, filtros circulares llenados con un filtro abierto sintético en el cual las aguas residuales son aplicadas en una cantidad relativamente alta. El diseño de los filtros permite una alta descarga hidráulica y un alto flujo de aire. En instalaciones más grandes, el aire es forzado a través del medio usando sopladores. El líquido resultante está usualmente con el rango normal para los procesos convencionales de tratamiento.

**Sedimentación secundaria:** El paso final de la etapa secundaria del tratamiento es retirar los flóculos biológicos del material de filtro, y producir agua tratada con bajos niveles de materia orgánica y materia suspendida. En una planta de

tratamiento rural, se realiza en el tanque de sedimentación secundaria (Pescod, M. B., 1992).

### 3.3.1.3. Tratamiento terciario.

El tratamiento terciario proporciona una etapa final para aumentar la calidad del efluente al estándar requerido antes de que éste sea descargado al ambiente receptor (mar, río, lago, campo, etc.) Más de un proceso terciario del tratamiento puede ser usado en una planta de tratamiento. Si la desinfección se practica siempre en el proceso final, es siempre llamada pulir el efluente.

**Filtración:** La filtración de arena remueve gran parte de los residuos de materia suspendida. El carbón activado sobrante de la filtración remueve las toxinas residuales.

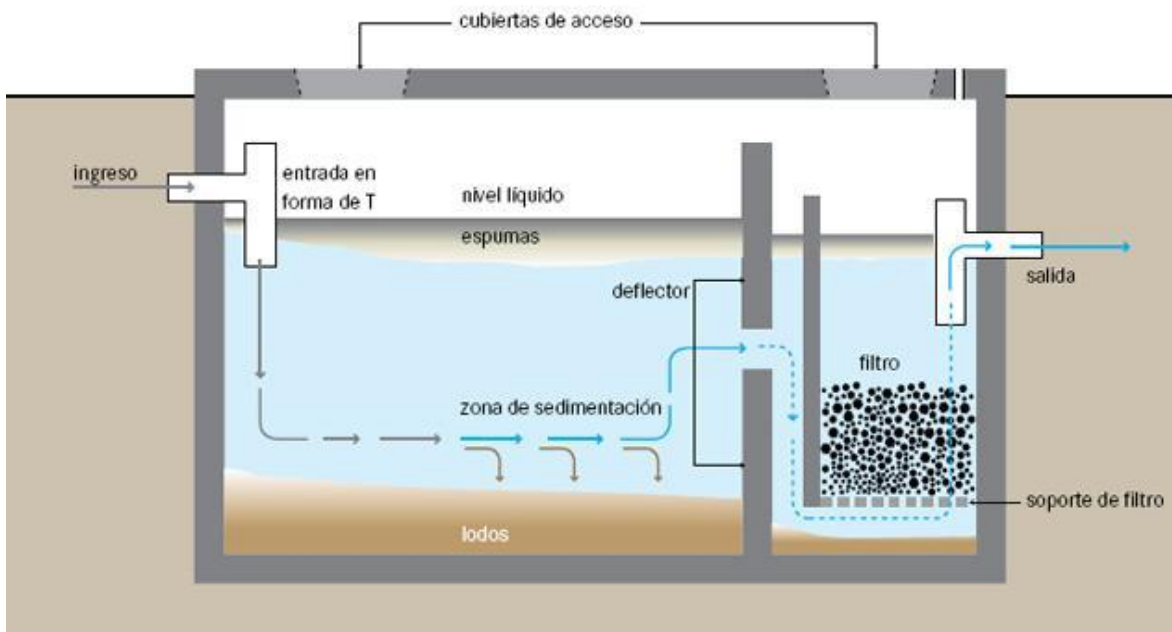


Figura2.- Esquemas de un tanque de filtración, empleado para la separación de grasas y aceites, así como de los sólidos presentes en el agua residual.

**Lagunaje:**El tratamiento de lagunas proporciona el establecimiento necesario y fomenta la mejora biológica de almacenaje en charcos o lagunas artificiales. Se trata de una imitación de los procesos de autodepuración que somete un río o un lago al agua residual de forma natural. Estas lagunas son altamente aerobias y la colonización por los macrofitos nativos, especialmente cañas, se dan a menudo. Los invertebrados de alimentación del filtro pequeño tales como Daphnia y especies de Rotifera asisten grandemente al tratamiento removiendo partículas finas. El sistema de lagunaje es barato y fácil de mantener pero presenta los inconvenientes de necesitar gran cantidad de espacio y de ser poco capaz para depurar las aguas de grandes núcleos.

**Remoción de nutrientes:**Las aguas residuales pueden también contener altos niveles de nutrientes (nitrógeno y fósforo) que eso en ciertas formas puede ser tóxico para peces e invertebrados en concentraciones muy bajas (por ejemplo amoníaco) o eso puede crear condiciones insanas en el ambiente de recepción (por ejemplo: mala hierba o crecimiento de algas). Las malas hierbas y las algas pueden parecer ser una edición estética, pero las algas pueden producir las toxinas, y su muerte y consumo por las bacterias (decaimiento) pueden agotar el oxígeno en el agua y asfixiar los peces y a otra vida acuática. Cuando se recibe una descarga de los ríos a los lagos o a los mares bajos, los nutrientes agregados pueden causar pérdidas entrópicas severas perdiendo muchos peces sensibles a la contaminación en el agua. La retirada del nitrógeno o del fósforo de las aguas residuales se puede alcanzar mediante la precipitación química o biológica.

La remoción del nitrógeno se efectúa con la oxidación biológica del nitrógeno del amoníaco a nitrato (nitrificación que implica nitrificar bacterias tales como Nitrobacter y Nitrosomonas), y entonces mediante la reducción, el nitrato es convertido al gas nitrógeno (desnitrificación), que se lanza a la atmósfera. Estas conversiones requieren condiciones cuidadosamente controladas para permitir la formación adecuada de comunidades biológicas. Los filtros de arena, las lagunas y las camas de lámina se pueden utilizar para reducir el nitrógeno. Algunas veces,

la conversión del amoníaco tóxico al nitrato solamente se refiere a veces como tratamiento terciario(González, M. S. 2006).

La oxidación anaeróbica se define como aquella en que la descomposición se ejecuta en ausencia de oxígeno disuelto y se usa el oxígeno de compuestos orgánicos, nitratos y nitritos, los sulfatos y el CO<sub>2</sub>, como aceptador de electrones. En el proceso conocido como desnitrificación, los nitratos y nitritos son usados por las bacterias facultativas, en condiciones anóxicas, condiciones intermedias, con formación de CO<sub>2</sub>, agua y nitrógeno gaseoso como productos finales.

La retirada del fósforo se puede efectuar biológicamente en un proceso llamado retiro biológico realizado del fósforo. En este proceso específicamente bacteriano, llamadas Polifosfato que acumula organismos, se enriquecen y acumulan selectivamente grandes cantidades de fósforo dentro de sus células. Cuando la biomasa enriquecida en estas bacterias se separa del agua tratada, los biosólidos bacterianos tienen un alto valor del fertilizante. La retirada del fósforo se puede alcanzar también, generalmente por la precipitación química con las sales del hierro (por ejemplo: cloruro férrico) o del aluminio (por ejemplo: alumbre). El fango químico que resulta, sin embargo, es difícil de operar, y el uso de productos químicos en el proceso del tratamiento es costoso. Aunque esto hace la operación difícil y a menudo sucia, la eliminación química del fósforo requiere una huella significativamente más pequeña del equipo que la de retiro biológico y es más fácil de operar(González, M. S. 2006).

**Desinfección:**El propósito de la desinfección en el tratamiento de las aguas residuales es reducir substancialmente el número de organismos vivos en el agua que se descargará nuevamente dentro del ambiente. La efectividad de la desinfección depende de la calidad del agua que es tratada (por ejemplo: turbiedad, pH, etc.), del tipo de desinfección que es utilizada, de la dosis de desinfectante (concentración y tiempo), y de otras variables ambientales. El agua



turbia será tratada con menor éxito puesto que la materia sólida puede blindar organismos, especialmente de la luz ultravioleta o si los tiempos del contacto son bajos. Generalmente, tiempos de contacto cortos, dosis bajas y altos flujos influyen en contra de una desinfección eficaz. Los métodos comunes de desinfección incluyen el ozono, la clorina, o la luz UV. La Cloramina, que se utiliza para el agua potable, no se utiliza en el tratamiento de aguas residuales debido a su persistencia.

La desinfección con cloro sigue siendo la forma más común de desinfección de las aguas residuales en Norteamérica debido a su bajo historial de costo y del largo plazo de la eficacia. Una desventaja es que la desinfección con cloro del material orgánico residual puede generar compuestos orgánicamente clorados que pueden ser carcinógenos o dañinos al ambiente. La clorina o las "cloraminas" residuales puede también ser capaces de tratar el material con cloro orgánico en el ambiente acuático natural. Además, porque la clorina residual es tóxica para especies acuáticas, el efluente tratado debe ser químicamente desclorinado, agregándose complejidad y costo del tratamiento.

La luz ultravioleta (UV) se está convirtiendo en el medio más común de la desinfección en el Reino Unido debido a las preocupaciones por los impactos de la clorina en el tratamiento de aguas residuales y en la clorinación orgánica en aguas receptoras. La radiación UV se utiliza para dañar la estructura genética de las bacterias, virus, y otros patógenos, haciéndolos incapaces de la reproducción. Las desventajas dominantes de la desinfección UV son la necesidad del mantenimiento y del reemplazo frecuentes de la lámpara y la necesidad de un efluente altamente tratado para asegurarse de que los microorganismos objetivo no están blindados de la radiación UV (es decir, cualquier sólido presente en el efluente tratado puede proteger microorganismos contra la luz UV).

El ozono  $O_3$  es generado pasando el  $O_2$  del oxígeno con un potencial de alto voltaje resultando un tercer átomo de oxígeno y que forma  $O_3$ . El ozono es muy

inestable y reactivo y oxida la mayoría del material orgánico con que entra en contacto, de tal manera que destruye muchos microorganismos causantes de enfermedades. El ozono se considera ser más seguro que la clorina porque, mientras que la clorina que tiene que ser almacenada en el sitio (altamente venenoso en caso de un lanzamiento accidental), el ozono es colocado según lo necesitado. La ozonización también produce pocos subproductos de la desinfección que la desinfección con cloro. Una desventaja de la desinfección del ozono es el alto costo del equipo de la generación del ozono, y que la cualificación de los operadores deben ser elevada(González, M. S. 2006).

### **3.4.- Tratamientos Físicos de aguas residuales.**

Los contaminantes en suspensión, coloidales y disueltos (orgánico e inorgánicos), en las aguas residuales se pueden separar físicamente. Los contaminantes se eliminan de las aguas residuales en orden de dificultad creciente: Primero se retienen; los trapos, palos, y objetos grandes, después se separa a arenilla, por sedimentación, en tanques o cámaras desarenadoras. Los sólidos pequeños, se pueden separar y concentrar entanques primarios de sedimentación por gravedad. (Henry. J.G. y Heinke G. W.)

**Procesos Físicos:** La sedimentación por gravedad es el proceso físico más común para separar sólidos en suspensión de las aguas residuales. Los tratamientos físicos de las aguas residuales están compuestos de los siguientes pasos:

### **3.4.1 Mezclado.**

El mezclado es una operación unitaria de gran importancia en muchas fases del tratamiento de aguas residuales, entre las que podemos citar:

- Mezcla completa de una sustancia con otra
- Mezcla de suspensiones líquidas
- Mezcla de líquidos miscibles
- Floculación

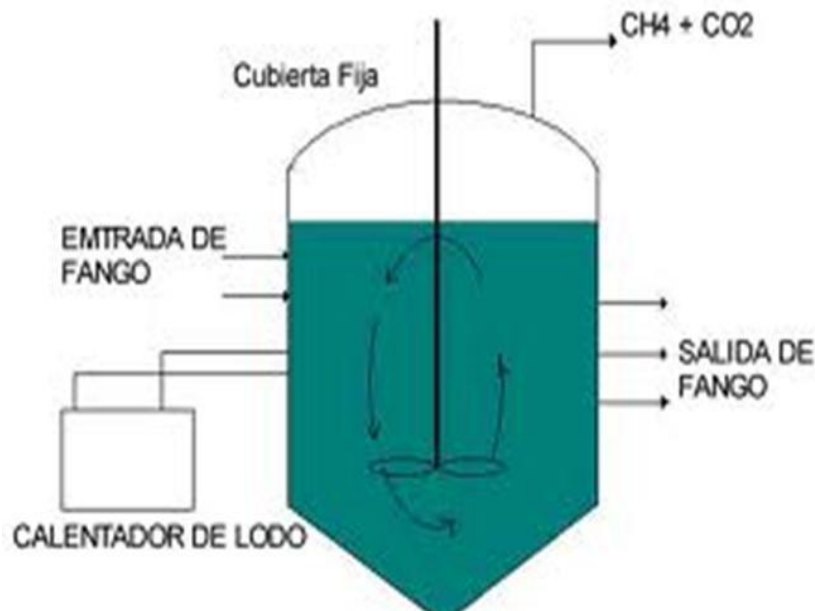


Figura 4.- Tanque de mezclado, empleado en el tratamiento de aguas residuales, en este tipo de equipos, normalmente, se lleva a cabo el mezclado del agua residual con los lodos activados, con la finalidad de precipitar los sólidos suspendidos en el agua, para formar más lodos.

### 3.4.2 Purificación.

El agua es uno de los principales transmisores de microorganismos causantes de enfermedades, principalmente bacterias, virus y protozoos intestinales. Las grandes epidemias de la humanidad han prosperado por la contaminación del agua. Por referencias se conoce que se recomendaba hervir el agua desde quinientos años antes de nuestra era. Actualmente en los países desarrollados están prácticamente controlados los problemas que planteaban las aguas contaminadas.

Cloro: Los procesos de filtración y desinfección mediante cloro a los que se somete al agua antes del consumo humano se han impuesto en el siglo XX y se estima que son los causantes del 50% de aumento de la expectativa de vida de los países desarrollados en el siglo pasado.

La cloración y filtración del agua fue considerada por la revista Life probablemente el más importante progreso de salud pública del milenio. El cloro es el material más usado como desinfectante del agua. El cloro puede resultar irritante para las mucosas y la piel por ello su utilización está estrictamente vigilada.

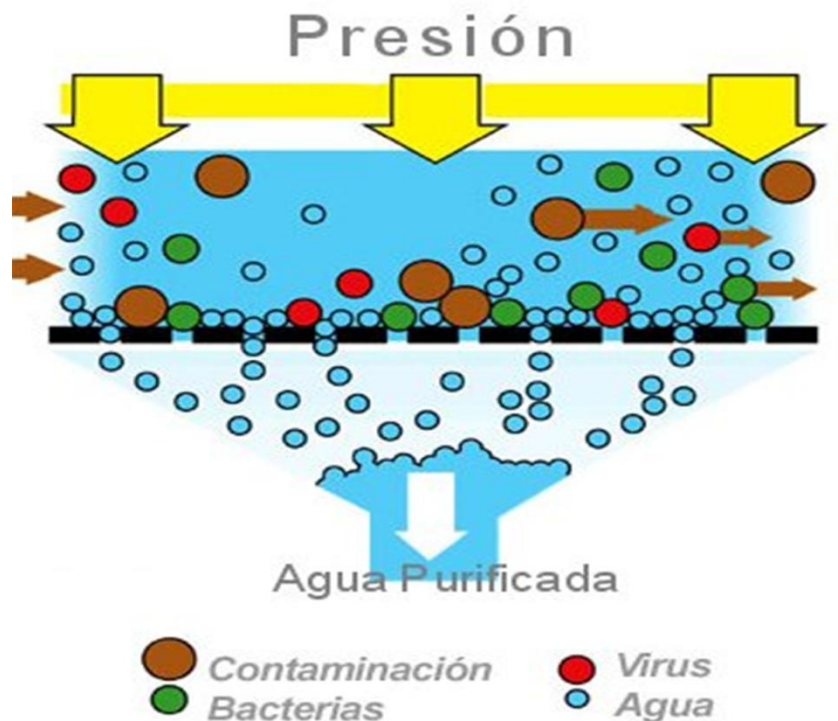
La proporción usada varía entre 1ppm cuando se trata de purificar el agua para su consumo, y entre 1-2 ppm para la preparación de agua de baño. La aplicación inadecuada de componentes químicos en el agua puede resultar peligroso. La aplicación de cloro como desinfectante comenzó en 1912 en los Estados Unidos. Al año siguiente Wallace y Tiernan diseñaron unos equipos que podían medir el cloro gas y formar una solución concentrada que se añadía al agua a tratar. Desde entonces la técnica de cloración ha seguido progresando (Ravina, I.; *Et al*, 1992).

Ósmosis inversa: La ósmosis es un proceso natural que se produce siempre que una solución diluida se separa de una solución concentrada mediante una membrana semipermeable. El agua, impulsada por una fuerza ocasionada por la diferencia de concentración – la presión osmótica – pasa por la membrana en la solución concentrada. El flujo del agua continúa hasta que la solución concentrada está diluida, y la contrapresión evita que se produzcan otros flujos a través de la membrana (equilibrio osmótico).

Si se aplica una presión mayor que la presión osmótica en el lado de mayor concentración de la membrana, la dirección normal del flujo osmótico se invierte, el agua pura pasa por la membrana desde la solución concentrada y se separa así de sus contaminantes. Este es el principio básico de la ósmosis inversa (en ocasiones denominada hiperfiltración).

En la práctica, el agua de alimentación se bombea a un recipiente de presión que contiene una espiral o un conjunto de fibras huecas de membranas semipermeables. El agua purificada pasa por la membrana para formar el

‘permeado’. Los contaminantes se acumulan en el agua residual, denominada ‘concentrado’, que se purga continuamente hasta su vaciado. La última generación de membranas de material compuesto de película fina de poliamida para ósmosis inversa que han sustituido a las primeras membranas de celulosa eliminan el 95-98% de iones inorgánicos, junto con prácticamente todos los contaminantes no iónicos de mayor tamaño y moléculas orgánicas con un peso molecular mayor que 100. Los gases disueltos no se eliminan.



El carbón activado, elimina el cloro mediante un mecanismo catalítico y los compuestos orgánicos disueltos mediante adsorción, y a menudo se encuentra en dos ubicaciones en un sistema de purificación de agua. El carbón se puede utilizar en forma de gránulos o en bloques más prácticos. Debido a que las membranas de material compuesto de película fina para ósmosis inversa pueden dañarse por una exposición excesiva al cloro libre y, en menor medida, pueden contaminarse por compuestos orgánicos disueltos, el carbón activado se sitúa en ocasiones antes de la membrana de ósmosis inversa para eliminar estos contaminantes.

Los filtros de carbón activado a menudo se ubican en el circuito de limpieza de un sistema de purificación de agua para eliminar las trazas de los compuestos orgánicos disueltos antes del intercambio iónico final (García, J. M., 1990) .

#### **4.- Plantas de paquete y reactores.**

Se han producido las plantas del paquete y los reactores de la hornada para utilizar menos espacio, tratar la basura difícil, ocuparse de flujo intermitente o alcanzar estándares ambientales más altos, un número de diseños de las plantas de tratamiento híbridas. Tales plantas combinan a menudo todas o por lo menos dos o tres etapas principales del tratamiento en una etapa combinada.

En el Reino Unido, en donde una gran cantidad de plantas de tratamiento de agua residuales ayudan a poblaciones pequeñas, las plantas del paquete son una alternativa viable a las estructuras discretas del edificio para cada etapa de proceso. Por ejemplo, un proceso que combina el tratamiento y el establecimiento secundarios es el reactor secuencial de la hornada (SBR). Típicamente, el fango activado se mezcla con las aguas residuales entrantes crudas, se mezcla y se airea.

La mezcla que resulta, será un efluente de la alta calidad. El fango colocado es escurrido y re aireado antes de que una proporción se vuelva a los trabajos. Las plantas de SBR ahora se están desplegando en muchas partes del mundo incluyendo North Liberty, Iowa, y Llanasa, North Wales. La desventaja de tales procesos es ese control exacto de la sincronización, el mezclarse y se requiere la aireación. Esta precisión es alcanzada generalmente por los controles de computadora ligados a muchos sensores en la planta.

Un sistema tan complejo, frágil es inadecuado a los lugares en donde tales controles pueden ser no fiables, o mal mantenidos, o donde la fuente de

alimentación puede ser intermitente. Las plantas del paquete se pueden referir como el colmo cargado o punto bajo cargado. Esto refiere a la manera que se procesa la carga biológica. En altos sistemas cargados, la etapa biológica se presenta con una alta carga orgánica y el material combinado del flóculo y orgánico entonces se oxigena por algunas horas antes de ser cargada nuevamente. En el sistema cargado bajo la etapa biológica contiene una carga orgánica baja y se combina con el flóculo para un largo plazo, relativamente (Noyola, A., 1989).

#### **4.1. El déficit mundial del tratamiento.**

Visto de una perspectiva mundial existe capacidad inadecuada del tratamiento de las aguas residuales, especialmente en países poco desarrollados. Esta circunstancia ha existido desde, por lo menos, los años 70 y es debido a la superpoblación, a la crisis del agua y al costo de construir sistemas de tratamiento de aguas residuales. El resultado del tratamiento inadecuado de las aguas residuales es aumentos significativos de la mortalidad (sobre todo) de enfermedades prevenibles; por otra parte, este impacto de la mortalidad es particularmente alto entre los infantes y otros niños en países subdesarrollados, particularmente en los continentes de África y de Asia. Particularmente, en el año 2000, las Naciones Unidas han establecido que 2.64 mil millones de personas tenían el tratamiento y/o disposición de las aguas residuales inadecuado. Este valor representó a 44 por ciento de la población global, pero en África y Asia aproximadamente la mitad de la población no tenía ningún acceso cualesquiera a los servicios del tratamiento de aguas residuales (Collazos, C. J., 1990).



## **5.- Potenciales impactos ambientales.**

Los contaminantes de las aguas servidas municipales, o aguas servidas domésticas, son los sólidos suspendidos y disueltos que consisten en: materias orgánicas e inorgánicas, nutrientes, aceites y grasas, sustancias tóxicas, y microorganismos patógenos. Los desechos humanos sin un tratamiento apropiado, eliminados en su punto de origen o recolectados y transportados, presentan un peligro de infección parasitaria (mediante el contacto directo con la materia fecal), hepatitis y varias enfermedades gastrointestinales, incluyendo el cólera y tifoidea (mediante la contaminación de la fuente de agua y la comida). Cabe mencionar que el agua de lluvia urbana puede contener los mismos contaminantes, a veces en concentraciones sorprendentemente altas.

Cuando las aguas servidas son recolectadas pero no tratadas correctamente antes de su eliminación o reutilización, existen los mismos peligros para la salud pública en las proximidades del punto de descarga. Si dicha descarga es en aguas receptoras, se presentarán peligrosos efectos adicionales (p.ej. el hábitat para la vida acuática y marina es afectada por la acumulación de los sólidos; el oxígeno es disminuido por la descomposición de la materia orgánica; y los organismos acuáticos y marinos pueden ser perjudicados aún más por las sustancias tóxicas, que pueden extenderse hasta los organismos superiores por la bio-acumulación en las cadenas alimenticias). Si la descarga entra en aguas confinadas, como un lago o una bahía, su contenido de nutrientes puede ocasionar la eutrofización, con molesta vegetación que puede afectar a las pesquerías y áreas recreativas. Los desechos sólidos generados en el tratamiento de las aguas servidas (grava, cerniduras, y fangos primarios y secundarios) pueden contaminar el suelo y las aguas si no son manejados correctamente. Los proyectos de aguas servidas son ejecutados a fin de evitar o aliviar los efectos de los contaminantes descritos

anteriormente en cuanto al ambiente humano y natural. Cuando son ejecutados correctamente, su impacto total sobre el ambiente es positivo. Los impactos directos incluyen la disminución de molestias y peligros para la salud pública en el área de servicio, mejoramientos en la calidad de las aguas receptoras, y aumentos en los usos beneficiosos de las aguas receptoras. Adicionalmente, la instalación de un sistema de recolección y tratamiento de las aguas servidas posibilita un control más efectivo de las aguas servidas industriales mediante su tratamiento previo y conexión con el alcantarillado público, y ofrece el potencial para la reutilización beneficiosa del efluente tratado y de los fangos.

Los impactos indirectos del tratamiento de las aguas residuales incluyen la provisión de sitios de servicio para el desarrollo, mayor productividad y rentas de las pesquerías, mayores actividades y rentas turísticas y recreativas, mayor productividad agrícola y forestal o menores requerimientos para los fertilizantes químicos, en caso de ser reutilizado el efluente y los fangos, y menores demandas sobre otras fuentes de agua como resultado de la reutilización del efluente. De éstos, varios potenciales impactos positivos se prestan para la medición, por lo que pueden ser incorporados cuantitativamente en el análisis de los costos y beneficios de varias alternativas al planificar proyectos para las aguas servidas. Los beneficios para la salud humana pueden ser medidos, por ejemplo, mediante el cálculo de los costos evitados, en forma de los gastos médicos y días de trabajo perdidos que resultarían de un saneamiento defectuoso. Los menores costos del tratamiento de agua potable e industrial y mayores rentas de la pesca, el turismo y la recreación, pueden servir como mediciones parciales de los beneficios obtenidos del mejoramiento de la calidad de las aguas receptoras. En una región donde es grande la demanda de viviendas, los beneficios provenientes de proporcionar lotes con servicios pueden ser reflejados en parte por la diferencia en costos entre la instalación de la infraestructura por adelantado o la adecuación posterior de comunidades no planificadas. A menos que sean correctamente planificados, ubicados, diseñados, construidos, operados y mantenidos, es probable que los proyectos de aguas servidas tengan un impacto total negativo y

no produzcan todos los beneficios para los cuales se hizo la inversión, afectando además en forma negativa a otros aspectos del medio ambiente.

## **6.- Problemas socioculturales.**

Las instalaciones de tratamiento requieren tierra; su ubicación puede resultar en la reubicación involuntaria. Es más, las obras de tratamiento y eliminación pueden crear molestias en las cercanías inmediatas, al menos ocasionalmente. A menudo, las tierras y los barrios elegidos, corresponden a los "grupos vulnerables" que son los menos capacitados para afrontar los costos de la reubicación y cuyo ambiente vital ya está alterado. Se debe tener cuidado de ubicar las instalaciones de tratamiento y eliminación donde los olores o ruidos no molestarán a los residentes u otros usuarios del área, manejar la reubicación con sensibilidad, e incluir en el plan de atenuación del proyecto, provisiones para mitigar o compensar los impactos adversos sobre el medio ambiente humano. Si no se incluye estas consideraciones en la planificación del proyecto, existe el riesgo sustancial.

## **7.- Tecnología apropiada.**

El concepto de la tecnología apropiada en los sistemas de agua servida, abarca dimensiones técnicas, institucionales, sociales y económicas. Desde un punto de vista técnico e institucional, la selección de tecnologías no apropiadas, ha sido identificada como una de las principales causas de fallas en el sistema. El ambiente de las aguas servidas es hostil para el equipo electrónico, eléctrico y mecánico. Su mantenimiento es un proceso sin fin, y requiere de apoyo (repuestos, laboratorios, técnicos capacitados, asistencia técnica especializada, y presupuestos adecuados). Aun en los países desarrollados, son los sistemas más sencillos, elegidos y diseñados con vista al mantenimiento, los que brindan un servicio más confiable. En los países en desarrollo, donde es posible que falten algunos ingredientes para un programa exitoso de mantenimiento, ésta debe ser la

primera consideración al elegir tecnologías para las plantas de tratamiento y estaciones de bombeo. En comunidades pequeñas y ambientes rurales, las opciones técnicas suelen ser más sencillas, pero las consideraciones institucionales se combinan con las sociales y siguen siendo extremadamente importantes. Las instituciones locales deben ser capaces de manejar los programas o sistemas de saneamiento; la participación comunitaria puede ser un elemento clave en su éxito. Son importantes las acostumbradas preferencias sociales y prácticas; algunas pueden ser modificadas mediante programas educativos, pero otras pueden estar arraigadas en los valores culturales y no estar sujetas al cambio.

La economía forma parte de la decisión de dos maneras. No es sorprendente que las tecnologías más sencillas, seleccionadas por su facilidad de operación y mantenimiento, suelen ser las menos costosas para construir y operar. Sin embargo, aun cuando no lo sean, como puede ser el caso cuando gran cantidad de tierra debe ser adquirida para los estanques de estabilización, un sistema menos costoso que fracasa, finalmente sería más costoso que otro más caro que opera de manera confiable.

## **Bibliografía Citada**

Feijin, A., Ravina, I., Shalhevet, J. Irrigation with treated sewage effluent. Management for environmental protection. Advanced Series in Agricultural Sciences. No. 17, 1991.

Guardado, J. A. Análisis de aguas residuales de la ciudad de Santa Clara para su reutilización en el riego. Voluntad Hidráulica, 1990.

Hernández M. A.; Hernández L. A.; Galán M. P. Manual de Depuración Uralita: Sistemas para depuración de aguas residuales en núcleos de hasta 20000 habitantes. Ed. Paraninfo s.a.: Madrid, 1996.

Hylsky, H. Riego con agua de desecho de las ciudades.--La Habana: Año del Primer Congreso, 1975.

López P., S.J. Reutilización de las aguas residuales en el riego. Master en Ingeniería de Regadíos. Madrid. CEDEX, 1997.

Moreno, J. Tratamiento de aguas residuales y su reutilización en el riego de los cultivos agrícolas de Ciudad de la Habana. I Seminario Aguas Residuales, 1997.

Organización Mundial de la Salud. Directrices Sanitarias sobre el uso de aguas residuales en la Agricultura y Acuicultura WorldhealthOrganization. Ginebra: ed. OMS, 1989.

Pescod, M. B. Wastewater treatment and use in agriculture, FAO: Irrigation and Drainage. Roma, 1992.

Ravina, I.; E. Paz; Z. Sofer; A. Marcu; A. Shisha; G. Sagi. Control of emitter clogging in drip irrigation with reclaimed wastewater. Irrigation Science, 1992

Vaisman, I.; J. Shalhevet; T. Kipnis and A. Feijin. Water Regime and Nitrogen Fertilization for Rhodes Grass Irrigated with Municipal Waste Water on Sand Dun Soil: J. Environ.Qual 1982.

Aaronson, S., Berner, T. y Dubinsky, R. Microalgae as a source of chemicals and natural products. In: Shelef, G. y Soeder, C. J. (Eds). Algal biomass. Elsevier. North Holland. Amsterdam. 1980

Burlew, J. S. Algal culture from laboratory to pilot plant. Carnegie Institution of Washington pub. Washington. 2001

Collazos, C. J., 1990. Tratamiento de aguas residuales domésticas en Bucaramanga (Colombia), mediante reactores UASB y lagunas facultativas. En: Memorias de las Conferencias sobre: Tratamiento anaerobio de Aguas Residuales de América Latina. Ciudad Universitaria, México, D.F., 1990

Cuervo, F. H. Generalidades sobre tratamiento anaerobio de aguas residuales. Manual de Curso — Tratamiento Anaeróbico de Aguas Residuales. Microbiología y Bioquímica. Medellín, Colombia. 1988.

Chamy, M. R. y Alcalay, L. D. La tecnología de la digestión anaerobia en Chile. En: Memorias de las Conferencias sobre: Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales en América Latina. Ciudad Universitaria, México D.F. 1990.

De la Noue, J. Ni Eidhin, D. Improved performance of intensive semicontinuous cultures of *Scenedesmus* by biomass recirculation. Biotechnology and Bioengineering, 1988

- Edwards, P. The harvest of microalgae from the effluent of a sewage feed high rate stabilization pond by *Tilapia nilotica*. Studies of the fish ponds. Aquaculture, 1981.
- García, J. Marco de referencia sobre el tratamiento de aguas residuales en México. En: Memorias de las conferencias sobre: Tratamiento anaerobio de Aguas Residuales en América Latina. Ciudad Universitaria, México, D.F. 1990
- Goldman, J. J., Outdoor algal mass culture. Applications Water Research, 1979.
- Hellebust, J. D., Extracellular products In: Stewart, W.D.(Ed.) Algal physiology and biochemistry. Blackwell Sci.Pub. Oxford. 1974.
- Hulshoff-Pol, L.W., J. J. M. Van de Worp, G. Lettinga, W.A. Beverloo, Physical characterization of anaerobic granular sludge in: Anaerobic treatment. A Grown-up technology aquatech. 1986
- Manso, V.S.M. Domestic sewage treatment by UAS Breactor in Brazil. En: Memorias de las conferencias sobre: Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales de América Latina. Ciudad Universitaria, México D.F. 1990.
- Materassi R., Paoletti C., Balonni W. y Florenzano, G. Some considerations on the productions of lipid substances by microalgae and cyanobacteria. In: Shelef, G. and Soeder, J.C. (Eds). Algal biomass. Elsevier. North Holland. Amsterdam 1980.
- Noyola, A. Tratamiento anaerobio de aguas residuales: una experiencia de adaptación de tecnología en México. En: Memorias de las Conferencias sobre: Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales en América Latina. Ciudad Universitaria, México D. F. 1990.

- Noyola, A. Los procesos anaerobios en el tratamiento de aguas residuales. En: I Seminario Internacional sobre Biotecnología en la Agroindustria Cafetalera. Xalapa, Ver. México. 1989.
- Oswald, W. J., Light conversion efficiency in photosynthetic oxygenation IER.SanitaryEngr. Res. Lab. Univ. Calif. Berkeley, 1969.
- Ramos, A. y Salazar, M. Tratamiento biológico de efluentes con cultivos microalgales de clorofitas. En: I Seminario Internacional sobre Biotecnología en la Agroindustria Cafetalera. Xalapa, Ver. México, 1989.
- Redalje, D. G. et al. Algae as ideal waste removers: biochemical pathways. In: Biotreatment of agricultural wastewater. C. R. C. Press. Florida, 1989. 50
- Richmond, A. y Reiss, K. P. The biotechnology of algal culture. Interdisciplinary Science Reviews, 1980.
- Richmond, A. Phototrophic microalgae, In: Delleweg, H. Ed. Biotechnology Verlag-chemie. Weinheim, 1983.
- Salazar González, M. Cultivo y producción de microalgas: desarrollo de una tecnología limpia. En: Biodegradación de compuestos orgánicos industriales Coordinación de Bioprocesos Ambientales. Instituto de Ingeniería UNAM. Cd. Universitaria. México, D. F. 1996.
- Salazar González, M. Aplicación e importancia de las microalgas en el tratamiento de aguas residuales. Contactos, 2006.
- Solórzano, L. Determination of ammonia in natural water by the phenol-hypochlorite method. Limnology and Oceanography, 1969.



Soubes, M. y Muxi, L. Ensayos para la evaluación del potencial metanogénico de inóculos y efluentes. En Memorias de las conferencias sobre: Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales en América Latina. Ciudad Universitaria, México, D. F. 1990.

Tripathi, B. D. y Shukla, S. C. Biological treatment of waste water by selected aquatic plants. Environmental Pollution, 1991.

Valdés, J. M. E., Obaya, A. M. C., y Ramos, A. J. Experiencias cubanas en el proceso de digestión anaerobia con el uso de reactores UASB. En: Memorias de las Conferencias sobre: Tratamiento anaerobio de Aguas Universitaria, México, D.F. 1990.

<http://www.fpolar.org.ve/quimica/fasciculo19.pdf+el+agua+en+el+mundo+fasciculo&hl=ses&ct=clnk&cd=1&gl=mx>. Fecha de consulta; diciembre de 2013.

[http://www.agua-viv-info/es/aufsaetze\\_3\\_hm](http://www.agua-viv-info/es/aufsaetze_3_hm). Fecha de consulta; diciembre de 2013

<http://www.mgar.net/nar/agua.htm>. Fecha de consulta; enero de 2014.

<http://www.usal.es.com/javisan/hidro>. Fecha de consulta; enero de 2014

[http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Agua\\_potable&oldid=16476481](http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Agua_potable&oldid=16476481).  
Fecha de consulta: Enero de 2014.

[http://www.wikipedia.org/wiki/Agua\\_de\\_mar](http://www.wikipedia.org/wiki/Agua_de_mar). Fecha de consulta; Enero de 2014.

[http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Agua\\_dulce&oldid=16282729](http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Agua_dulce&oldid=16282729).  
Fecha de consulta; Enero de 2014.

[http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Agua\\_dura&oldid=16137497](http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Agua_dura&oldid=16137497). Fecha de consulta; Enero de 2014.

[http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Aguas\\_negras&oldid=16312989](http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Aguas_negras&oldid=16312989). Fecha de consulta; Enero de 2014.

[http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Aguas\\_grises&oldid=15386313](http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=Aguas_grises&oldid=15386313). Fecha de consulta; Enero de 2014.

[http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=aguas\\_oldid](http://www.es.wikipedia.org/w/index.php?title=aguas_oldid). Fecha de consulta; Enero de 2014.

[http://www.teorema.com.mx/articulso.php?id\\_sec=42&id\\_art=1542](http://www.teorema.com.mx/articulso.php?id_sec=42&id_art=1542). Fecha de consulta; Enero de 2014.

<http://www.monografias.com/trabajos12/contagua/contagua.shtml>. Fecha de consulta; Enero de 2014.