



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

"MODELO DE EVALUACION TECNOLOGICA PARA LOS  
PROCESOS Y OPERACIONES UNITARIAS CON APLICACION  
AL TRATAMIENTO Y PURIFICACION DE AGUAS, EN EL  
ENTORNO DE LA LEY NACIONAL DE AGUAS"

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**INGENIERO QUIMICO**

**P R E S E N T A**

**JUAN JOSE MIRELES RODRIGUEZ**



MEXICO, D.F.



2004

**EXAMENES PROFESIONALES  
FACULTAD DE QUIMICA**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

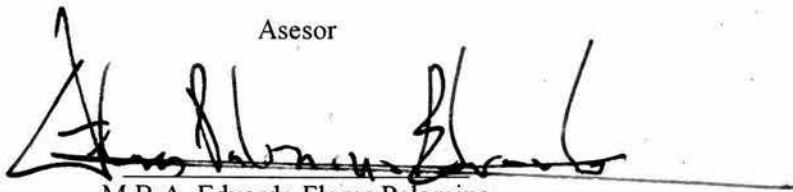
Presidente  
Vocal  
Secretario  
1er suplente  
2º suplente

Prof. Jaime Medina Oropeza  
Prof. Alejandro Iñiguez Hernández  
Prof. Eduardo Flores Palomino  
Prof. Celestino Montiel Maldonado  
Prof. Alfonso Duran Moreno

Sitio en donde se desarrollo el tema:

Empresa Generatoris, S.A de C.V.

Asesor

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Eduardo Flores Palomino', written over a horizontal line.

M.B.A. Eduardo Flores Palomino

Sustentante

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Juan José Mireles Rodríguez', written over a horizontal line.

Juan José Mireles Rodríguez

Este trabajo es dedicado a alguien muy especial que aunque ya no se encuentra con nosotros fue alguien imborrable , que marco mi vida, y que me enseñó que todo lo que uno se propone se puede lograr a base de lucha y esfuerzo, gracias a ella he llegado hasta aquí, gracias a todo lo que me enseñó y ya no tengo palabras para decir lo que represento y representará en mi vida.

CON TODO MI AMOR PARA MI

***MAMA***

---



---

---

## AGRADECIMIENTOS

---

---

Le doy gracias a dios por haberme dejado culminar el sueño más grande de mi vida, con la persona que más amo en este mundo y con toda la gente que quiero.

Doy gracias a una persona que ha demostrado ser única, que todas las palabras que le diga serán insuficientes para demostrarle todo lo que yo siento por ella, que decirle que la amo queda por demás entendido, gracias vero por todo lo que representas en mi vida.

Gracias a una familia que me supo aceptar, que me quiere y me respeta, que el apoyo que he recibido de ellos nunca se los podré pagar con nada, gracias queridos suegros (Manuel y Ángela )

A mi tía Soco y familia que cuando más la necesite siempre estuvo ahí que fueron un gran apoyo para mi en esos momentos difíciles gracias.

A mis hermanas Vero y Lupe que aunque hemos pasado momentos muy desagradables hemos salido adelante y espero que este triunfo no solo sea mío si no de toda la familia las quiero mucho.

A mi mejor amiga Vale que no importa los problemas que tuvimos, los hemos superado y espero que esta amistad dure toda la vida y que recuerde que aquí se encuentra una persona que la quiere mucho.

A todos mis amigos y amigas de la facultad Erick, Pancho, Ginori, Emilio, Pedro, Miguel, Mario Vela, Mau, Vicente, Jose Luis, Mario Neri, Armando, Quique, Vane, Myrna, Marce, Erika, Liz, Diana, Delia, Jorge, y Marielita por todas esas fiestas y esos viernes maravillosos que la facultad nos regalaba o no;

A Felipe De Vecchi por ser una gran persona, que me apoyo cuando lo necesite gracias por ser mi amigo.

A todo el personal de Generatoris donde pude realizar este trabajo de tesis con el cual podré culminar mi sueño. Especialmente a mi asesor Eduardo Flores por su ayuda para realizar esta gran meta en mi vida.

Y gracias a La UNAM por ser la institución más imponente en México y que lo que me ha dejado hasta este momento es un recuerdo inolvidable, conociendo al amor de mi vida, unos amigos y amigas incomparables, los mejores y peores momentos de mi vida. Por eso solo me queda decir

**¡ Goya, Goya cachun cachun ra ra cachun cachun ra ra Goya  
UNIVERSIDAD ¡**

**ÌNDICE**

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>OBJETIVOS</b> .....	2
<b>CAPÍTULO 1. EL AGUA</b> .....	3
1.1 Aspectos generales.....	3
1.1.1 Recursos hidráulicos de la tierra.....	3
1.1.2 Componentes del Ciclo Hidrológico Nacional.....	4
1.2 El ciclo del agua.....	5
1.3 Tipos de agua.....	6
1.4 Fuentes de abastecimiento.....	7
<b>CAPÍTULO 2. AGUAS CONSUNTIVAS</b> .....	9
2.1 Origen y características de las aguas residuales.....	9
2.1.1 Agua residual doméstica.....	9
2.1.2 Agua residual industrial.....	10
2.1.3 Agua residual agrícola y acuicultura.....	10
2.1.4 Agua residual municipal.....	10
2.2 Problemática del agua.....	12
2.2.1. Problemática del agua a nivel mundial.....	12
2.2.2. Problemática del agua en México.....	15
2.3 Antecedentes del tratamiento de aguas residuales.....	18

2.4 Antecedentes históricos del manejo de aguas residuales.....	19
2.5 Propósito del tratamiento.....	24
2.6 Reusos de las aguas tratadas.....	24

**CAPÍTULO 3. NORMATIVIDAD DEL AGUA CONSUNTIVA EN LA LEY**

<b>MEXICANA.....</b>	<b>26</b>
3.1 Distribución del agua en México.....	26
3.2 Consumo del agua en México.....	28
3.3 Generación de aguas residuales.....	29
3.4 Normatividad.....	30

**CAPÍTULO 4. PARÁMETROS DE CALIDAD Y CONTAMINANTES DEL AGUA.....**

<b>AGUA.....</b>	<b>47</b>
4.1 Definición de contaminante.....	47
4.2 Concepto de calidad de agua.....	47
4.3 Contaminación de un cuerpo de agua.....	47
4.3.1 Tipos de contaminantes.....	48
4.3.2 Efectos de contaminantes en el agua.....	50
4.3.3 Principales focos de contaminación.....	55
4.4 Parámetros de la calidad del agua.....	57
4.4.1 Parámetros físicos.....	57
4.4.2 Parámetros químicos.....	58
4.4.2.1 Químicos orgánicos.....	58

4.4.2.2 Parámetros indirectos para determinar la materia orgánica.....	58
4.4.2.3 Parámetros indirectos para determinar la materia inorgánica.....	59
4.4.3 Parámetros biológicos.....	60
4.4.3.1 Principales grupos de microorganismos.....	60
4.4.3.2 Indicadores de los organismos patógenos.....	61
4.4.4 Principales parámetros de la calidad del agua.....	62
<b>CAPÍTULO 5. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....</b>	<b>63</b>
5.1. Objetivo del tratamiento y selección de operaciones y procesos de las aguas residuales.....	63
5.2 Tratamiento preliminar.....	65
5.2.1 Cribado y desbaste.....	65
5.2.1.1. Tipos de dispositivos para cribados de aguas residuales.....	66
5.2.2 Clasificación de cribas.....	66
5.2.3 Desarenadores.....	66
5.2.3.1. Tipos de desarenadores.....	67
5.3. Tratamiento primario.....	68
5.3.1 Flotación.....	68
5.3.1.1 Separadores de grasas y aceites.....	68
5.3.1.2 Separadores por flotación con aire a presión o de aire comprimido.....	68
5.3.1.3 Tanques desnatadores.....	69
5.3.1.4 Igualación, homogenización y neutralización.....	69
5.3.1.5 Precloración.....	70

5.3.1.6 Preaireación.....	71
5.3.1.7 Tipos de sedimentación.....	72
5.4 Tratamiento secundario.....	73
5.4.1 Tipos de sedimentación.....	75
5.4.2 Proceso aerobio y anaerobio.....	76
5.4.3 Lodos activados.....	78
5.4.4 Los sistemas de aireación extendida.....	79
5.4.5 Filtros percoladores o rociadores.....	79
5.4.6 Discos biológicos.....	79
5.4.7 Coagulación-sedimentación.....	80
5.4.8 Lagunas de estabilización.....	80
5.4.9 Precipitación química.....	80
5.5 Tratamiento terciario.....	81
5.5.1 Filtración.....	81
5.5.2 Intercambio iónico.....	83
5.5.3 Adsorción por carbón activado.....	83
5.5.4 Nitrificación.....	83
5.5.5 Desnitrificación.....	83
5.5.6 Cloración a punto de quiebre.....	84
5.5.7 Osmosis inversa.....	84
5.5.8 Ultrafiltración.....	84
5.5.9 Desinfección.....	84
5.5.9.1 Cloración.....	86

5.5.9.2 Ozonación.....	87
5.5.9.3 Luz ultravioleta.....	87
5.6 Tratamiento de lodos.....	88
5.6.1 Características de los lodos.....	88
5.6.2 Procesos básicos para tratamiento de lodos.....	89
5.6.3 Disposición y utilización de lodos.....	90
<b>CAPÍTULO 6. MODELO PROPUESTO.....</b>	<b>92</b>
6.1. Introducción al modelo propuesto.....	92
6.2. Trenes de tratamiento para usos consuntivos del agua.....	94
6.3. Consideraciones para elaborar el modelo.....	96
6.3.1. Cuestionario 1. Usuario del modelo.....	96
6.3.2. Cuestionario 2. Objeto del modelo y criterios de evaluación.....	104
6.4. Descripción del modelo.....	113
6.5. Ejemplo aplicado al modelo propuesto.....	114
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>129</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>131</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>145</b>

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo de tesis servirá para desarrollar un modelo de evaluación para los procesos con aplicación al tratamiento y purificación de aguas en el entorno de la Ley Nacional de Aguas.

En un principio, se abordan los aspectos generales respecto al agua, incluidos el ciclo del agua, sus tipos y las fuentes de abastecimiento. Posteriormente se tratan todas las aguas consuntivas tomando en cuenta en este punto el origen y las características de éstas, su problemática, antecedentes históricos, los propósitos del tratamiento y las reuso de esta agua, teniendo en cuenta que describiendo las aguas consuntivas podremos mencionar los parámetros de calidad y los tipos de contaminantes del agua. Aquí se mencionan los efectos de los contaminantes y los principales focos de contaminación, así como los parámetros físicos, químicos y biológicos que afectan la calidad del agua. Esta parte es fundamental, por que entendiendo todos los parámetros de contaminación del agua podremos asignar el modelo antes mencionado.

Otro punto importante para la realización del modelo es la normatividad que existe en nuestro país; por lo tanto, conociendo los parámetros y la normas que hay que seguir, podremos enumerar los diferentes tipos de tratamiento. Los tratamientos más utilizados son el primario, secundario, terciario y la desinfección. Esta tesis describe los objetivos de cada tratamiento, así como la clasificación de cada operación y el proceso unitario utilizado en cada uno de los mismos.

Como se mencionó con anterioridad, este trabajo está enfocado dentro del marco de la legislación mexicana con respecto a la problemática del agua, y específicamente dentro de la ley nacional del agua. El contenido de esta tesis proporcionará los parámetros para realizar el modelo, que será capaz de indicar cual es la mejor tecnología para un problema concreto, definido y parametrizado por los factores que se consideran en este trabajo.

**OBJETIVOS**

- Elaborar un modelo para el tratamiento y purificación de aguas consuntivas con base en la tecnología actual sobre los procesos y operaciones unitarias, rigiéndose en la ley nacional de aguas.
- Concienciar la problemática del agua en México y dar una perspectiva con un modelo que apunte hacia las directrices del problema.
- Hacer una recopilación de tecnologías de tratamiento de aguas municipales en México.

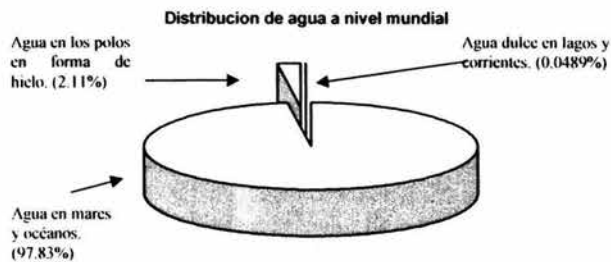


**CAPÍTULO 1. EL AGUA.****1.1. ASPECTOS GENERALES.**

El agua es indispensable para todo ser vivo y es reconocida como fuente de vida debido a que el cuerpo humano está compuesto por un 70% de ella. Por estas razones los sitios ideales para el asentamiento de las poblaciones dedicadas a la pesca y a la agricultura son las riberas de los cuerpos de agua naturales que actualmente son sitios de desarrollo urbano y rural. Por lo tanto, es importante conocer que la hidrología es la ciencia que trata el agua en la naturaleza, sus propiedades, distribución y comportamiento.

***1.1.1. Recursos hidráulicos de la tierra.***

Los volúmenes de agua existentes sobre la tierra son grandes. Se calcula que sólo los océanos y mares contienen  $1351.1 \times 10^6 \text{ km}^3$  de agua, y se estima que  $25.02$  a  $29.19 \times 10^6 \text{ km}^3$  se encuentra en los polos en forma de hielo. En conjunto esta suma el 97% de agua total en la tierra. Por lo tanto, esto deja como agua útil en la tierra sólo  $6.96 \times 10^5 \text{ km}^3$  de agua dulce en lagos, corrientes y en suelos permeables, y un poco menos del 3% está en la atmósfera<sup>1</sup>. En la figura 1 se muestra gráficamente esta distribución.



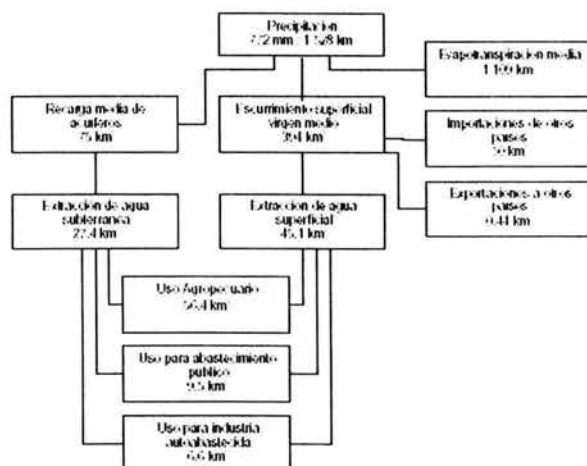
**FIGURA 1.** Distribución de agua a nivel mundial<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Fair-Gordon-Okun. Abastecimiento de agua y remoción de aguas residuales. Ingeniería sanitaria y de aguas residuales. Tomo 1. Ed. Limusa. Madrid, España 1990. Pp. 163

<sup>2</sup> Ibid. p.163

### 1.1.2. Componentes del Ciclo Hidrológico Nacional.

La precipitación anual en México es de  $1528 \text{ km}^3$ , de ésta la mayor parte ( $1109 \text{ km}^3$ ) es evapotranspirada;  $394 \text{ km}^3$  son de escurrimiento superficial virgen (ríos, lagos y lagunas) y tan solo  $75 \text{ km}^3$  fluyen a la recarga media de acuíferos. De la misma manera de la recarga de acuíferos aproximadamente el 45% de su agua es extraída. Los usos de la extracción de agua subterránea y superficial es variado, el 85% es para uso agropecuario, 9% para abastecimiento público y 6% para uso de la industria. En el esquema 1 se muestran los componentes pertenecientes al ciclo hidrológico nacional.



ESQUEMA 1. Componentes del Ciclo Hidrológico Nacional<sup>3</sup>.

Los valores anuales de la precipitación media en México entre los años 1941 a 2001 fueron de  $1528 \text{ km}^3$  ( $772 \text{ mm}^2$ ). En Diciembre del año 2001, se calculó que aproximadamente  $4685 \text{ km}^3$  pertenecen a la disponibilidad media por habitante (ver cuadro 1).

<sup>3</sup> Plan Nacional de Hidrología 2001-2006

En un artículo reciente<sup>4</sup>, se publicó que la cantidad de agua disponible en un país es directamente proporcional a su economía, sin embargo, aunque la disponibilidad por habitante sea considerablemente grande en nuestro país no podemos afirmar que esta regla se cumple para todos los países, porque hay muchos factores externos que influyen en la economía del mismo.

Evapotranspiración media.	1109 km <sup>3</sup>
Escurrimiento superficial virgen medio <sup>5</sup> .	394 km <sup>3</sup>
Recarga de acuíferos <sup>6</sup> .	75 km <sup>3</sup>
Disponibilidad media por habitante <sup>7</sup> .	4685 km <sup>3</sup>

CUADRO 1. Distribución de la precipitación media en México (1941-2001).

## 1.2. EL CICLO DEL AGUA

La precipitación, percolación, escurrimiento y evaporación son etapas en el ciclo del agua. El agua que cae de la lluvia fluye sobre la tierra y hace rutas por arroyos y ríos, estanques y lagos; parte de ella retorna de inmediato a la atmósfera por evaporación desde las superficies acuáticas y terrestres, así como por evaporación y transpiración de la vegetación mientras que otra parte se hunde en la tierra.

Una parte del agua es retenida en la corteza terrestre cerca de la superficie donde alguna cantidad se evapora directamente y otra es tomada por la vegetación, para ser retornada a la atmósfera por transpiración. El remanente del agua que es infiltrada, escurre hacia abajo por gravedad, hasta alcanzar el nivel freático. La mayor parte del agua subterránea es descargada hacia la superficie del suelo a través de manantiales.

<sup>4</sup> John Peet. "Liquid assets". *Priceless*. Estados Unidos 2004. Pp. 13.

<sup>5</sup> Información derivada de estudios de la GASIR. El escurrimiento superficial medio incluye 48 km<sup>3</sup> proveniente de Guatemala. 1.8 km<sup>3</sup> provenientes del río Colorado y se deducen 0.44 km<sup>3</sup> que se entregan a Estados Unidos de América en el río Bravo.

<sup>6</sup> Información derivada de estudios de GAS.

<sup>7</sup> Dato obtenido considerando la suma de escurrimiento superficial virgen medio más la recarga de aguas subterráneas, dividido por 100 millones de habitantes en Diciembre del 2001.

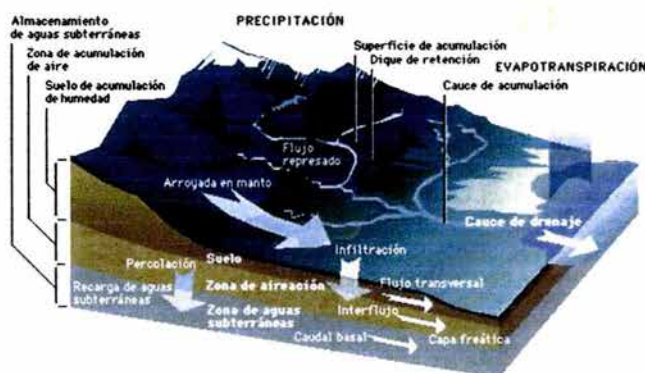


FIGURA 2. Ciclo del agua<sup>8</sup>.

### 1.3. TIPOS DE AGUA.

El tipo de agua se puede clasificar de diversas formas una de ellas es la que se basa en las normas mexicanas que toma en cuenta a los contaminantes y otros aspectos como el tratamiento que se da a cada tipo de agua y a la descarga sobre un cuerpo receptor. Por tal motivo, las clasificaciones de tipos de agua que se presentan en este trabajo serán las expuestas por la normatividad que rige a este país.

La clasificación de las aguas con base a la normatividad se presenta a continuación.

**Aguas Nacionales<sup>9</sup>:** Las aguas propiedad de la Nación, que son las aguas de los mares, aguas marinas interiores, lagunas y esteros, los lagos, los ríos y sus afluentes directos e indirectos y las aguas de subsuelo.

**Aguas Residuales<sup>10</sup>:** Las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, agropecuarios,

<sup>8</sup> Ville, C. A. "Biología". Ed. Interamericana McGraw-Hill. Segunda Edición. México. 1992. Pp. 1188

<sup>9</sup> Ibid, p. 5

<sup>10</sup> Ibid, p. 5

domésticos, incluyendo fraccionamientos y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas.

Aguas Pluviales<sup>11</sup>: Aquéllas que provienen de lluvias, se incluyen las que provienen de nieve y granizo.

Aguas residuales de proceso<sup>12</sup>: Las resultantes de la producción de un bien o servicio comercializable.

Aguas residuales domésticas<sup>13</sup>: Las provenientes del uso particular de las personas y del hogar.

Aguas residuales tratadas<sup>14</sup>: Son aquellas que mediante procesos individuales o combinados de tipo físicos, químicos, biológicos u otros, se han adecuado para hacerlas aptas para su reuso en servicios al público.

Aguas crudas<sup>15</sup>: Son las aguas residuales sin tratamiento.

#### 1.4. FUENTES DE ABASTECIMIENTO.

El agua dulce está distribuida de manera irregular en la superficie terrestre. Los grandes depósitos naturales se encuentran en los glaciares de Groenlandia y la Antártida, y en los Lagos de América del Norte y Rusia. Las zonas húmedas tropicales también contienen un porcentaje elevado del total de la reserva mundial de agua. Esto deja al resto de las zonas terrestres con grandes problemas de carencia de agua.

---

<sup>11</sup> Ibid, p.5

<sup>12</sup> Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996, Publicada en Diario Oficial de la Federación de fecha 3 de Junio de 1998

<sup>13</sup> Ibid, p.5

<sup>14</sup> Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Publicada en el diario Oficial de la Federación de fecha de 21 de Septiembre de 1998

<sup>15</sup> Ibid, p.5

Las principales fuentes de abastecimiento de agua en México son los ríos, manantiales y aguas subterráneas.

Las fuentes de agua dulce más comunes son:

Agua pluvial.

- a) Agua de los techados, almacenada en cisternas
- b) De cuencas o colectores mayores, almacenado en depósitos, para suministros comunales.

Aguas nacionales.

a) Agua superficial:

- 1) De corrientes, estanques naturales y lagos, mediante toma continua.
- 2) De corrientes con flujo adecuado de crecientes
- 3) De corrientes con flujos bajos en tiempo de sequía, pero con suficiente carga anual.

b) Agua subterránea:

- 1) De manantiales naturales.
- 2) De pozos.
- 3) De galerías filtrantes, estanques o embalses.

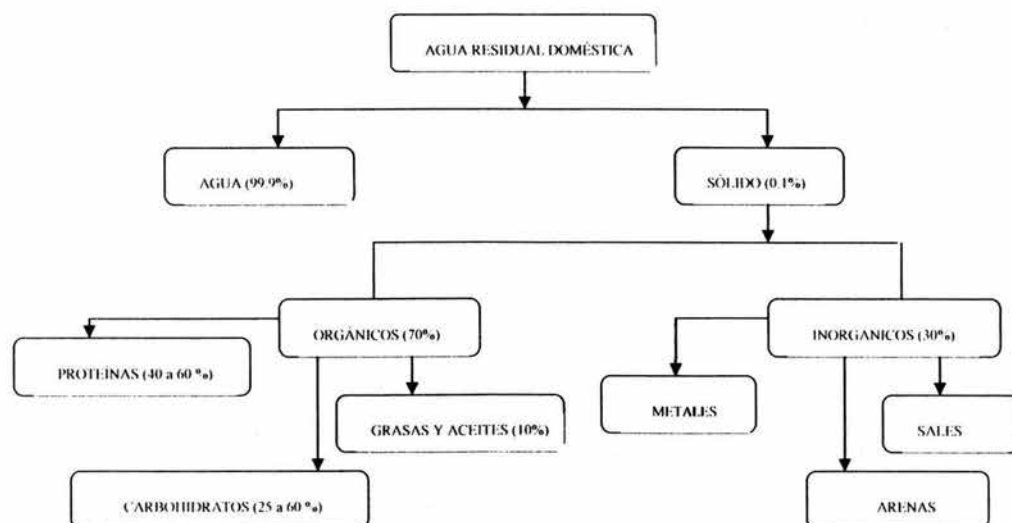
## CAPÍTULO 2. AGUAS CONSUNTIVAS.

### 2.1. ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Un sistema hidrosanitario urbano inicia en la fuente de abastecimiento de agua donde es captada, si el agua no reúne las condiciones de potabilidad se le da un tratamiento para que cumpla con los parámetros establecidos, posteriormente es utilizada por los usuarios, quienes a su vez para que estos al usarla le adicionan contaminantes que proceden del uso doméstico, comercios, industrias, establecimientos de servicio y usos municipales.

#### 2.1.1 Agua residual doméstica<sup>16</sup>.

El agua residual doméstica esta constituida por 99.9% de agua y 0.1% de sólidos. A su vez estos sólidos pueden clasificarse en orgánicos (70%) e inorgánicos (30%). Los sólidos orgánicos están constituidos por proteínas, carbohidratos, grasas y aceites. Mientras tanto, los sólidos inorgánicos están compuestos de metales, sales y tierras. Estos datos se muestran en el esquema 2.



**ESQUEMA 2.** Características de un agua residual doméstica.

<sup>16</sup> Fair-Geyer-Okun. Abastecimiento de agua y remoción de aguas residuales. Ingeniería sanitaria y de aguas residuales. Tomo I. Ed. Limusa, Madrid, España 1990. pp.25

### 2.1.2. Agua residual industrial.

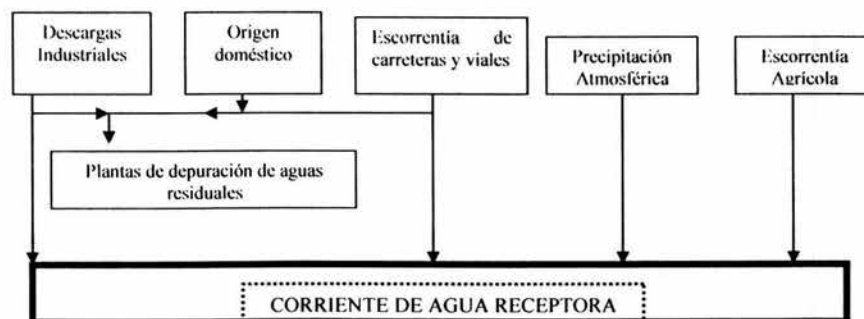
Las aguas residuales industriales requieren de tratamiento antes de ser descargadas en el sistema de alcantarillado municipal; las características de esta agua, así como los procesos de tratamiento varían de una industria a otra, los procesos de tratamiento también son muy variables.

### 2.1.3. Agua residual agrícola y acuicultura.

En 1989 la Organización Mundial de la Salud (OMS)<sup>17</sup>, publicó una obra que se refiere al uso directo o indirecto de aguas. Entre otras cosas las directrices se apoyan en pruebas epidemiológicas disponibles al establecer que si el tratamiento de las aguas residuales es suficiente para que el número probable de los coliformes fecales por cada 100 mL sea menor de 1000 y el huevo de nematodo por litro menor a 1, dichas aguas se consideran adecuadas para irrigar cosechas de productos comestibles.

### 2.1.4. Aguas residuales municipales.

Las aguas residuales municipales provienen de fuentes contaminantes urbanas, industriales y agrícolas. A continuación se presenta en forma esquemática la distribución de estas.



ESQUEMA 3. Fuentes contaminantes sobre los cauces receptoras<sup>18</sup>.

<sup>17</sup> Heat Guidelines for the Use Water in Agricultural and Aquaculture, OMS, 1989.

<sup>18</sup> Hernández Muñoz, Aurelio. Depuración de Aguas Residuales. Ed. Colección SEINOR, 1998. Pp.4



En el siguiente cuadro se indican los parámetros suficientes para definir el grado de contaminación del agua residual municipal.

Parámetro	Unidades	Contaminación fuerte	Contaminación media	Contaminación baja
Sólidos totales	mL/	1000	500	200
Sólidos totales volátiles	mL/L	700	350	120
Sólidos totales fijos	mL/L	300	150	80
Sólidos en suspensión totales	mL/L	500	300	100
Sólidos en suspensión totales volátiles	mL/L	400	250	70
Sólidos en suspensión totales fijos	mL/L	100	50	30
Sólidos sedimentables totales	mL/L	250	180	40
Sólidos sedimentables totales volátiles	mL/L	100	72	16
Sólidos sedimentables totales fijos	mL/L	150	108	24
Sólidos disueltos totales	mL/L	500	200	100
Sólidos disueltos totales volátiles	mL/L	300	100	50
Sólidos disueltos totales fijos	mL/L	200	100	50
Demanda bioquímica de oxígeno <sub>5</sub> , a 20°C (D.B.O.)	mg/L	300	200	100
Demanda química de oxígeno (D.Q.O)	mg/L	800	450	160
Oxígeno disuelto (O.D)	mg/L	0	0, 1	0, 2
Nitrógeno total (N.)	mg/L	86	50	25
Nitrógeno orgánico (N.)	mg/L	35	20	10
Amoníaco libre (N-NH <sub>4</sub> )	mg/L	50	30	15
Nitritos (N-NO <sub>2</sub> )	mg/L	0, 10	0, 05	0
Nitratos (N-NO <sub>3</sub> )	mg/L	0, 40	0, 20	0, 10
Fósforo total (P)	mg/L	17	7	2
Cloruros	mg/L	175	100	15
pH	Unidades	---	---	---
Grasas	mg/L	40	20	0

**CUADRO 2.** Parámetros para definir el grado de contaminación de un agua residual<sup>19</sup>.

En cuadro 3 se presentan las características promedio de las aguas residuales municipales en México según el tamaño de población.

<sup>19</sup> López R.R., Aguas residuales municipales y biosólidos. Facultad de Ingeniería, UNAM 2003, pp. 36.

PARÁMETROS (Unidades mg/L, excepto que se indique otra forma)	RANGOS DE POBLACIÓN				PROMEDIO
	2500	10000	20000	50000	
	a 10000	a 20000	a 50000	a 100000	
pH	7.4	6.9	6.9	7.3	7.1
Temperatura (°C)	25	20	23	22	23
DBO	264	299	254	301	280
DQO	698	719	09	430	614
Sólidos suspendidos (mL)	9	5	8	3	6
Grasas y aceites	56	44	65	9	65
Amoníaco libre	24	28	14	12	20
Nitrógeno orgánico	18	23	23	9	18
Nitrógeno total	37	44	30	24	34
Fosfatos totales	20	24	16	29	22
Coniformes totales (NMP/100 mL)	7	773	14	107	225
<b>SÓLIDOS</b>					
Totales	1552	1141	1391	932	1254
Totales en suspensión	286	309	233	17	249
Totales en disolución	1266	832	1158	75	1005
Totales volátiles	737	871	449	349	02
Volátiles en suspensión	223	192	151	139	17
Volátiles en disolución	514	379	298	210	350
Totales fijos	815	570	942	583	728
Fijos en suspensión	116	145	183	58	12
Fijos en disolución	699	425	759	525	602

CUADRO 3. Características promedio de las aguas residuales municipales en México<sup>20</sup>.

## 2.2. PROBLEMÁTICA DEL AGUA.

### 2.2.1. PROBLEMÁTICA DEL AGUA A NIVEL MUNDIAL.

A nivel mundial existen diversos problemas relacionados con el agua, para referirnos a esta problemática se han tomado en cuenta artículos de la revista *Economist*<sup>21</sup>. Los problemas planteados por el autor de esta revista se dividen esencialmente en tres partes: político-sociales, económicos y geográficos.

<sup>20</sup> SRH, Subsecretaría de Planeación, Dirección General del Uso del Agua y Prevención de Contaminación de sistemas.

<sup>21</sup> John Peet. *Priceless Economist*. Reino Unido 2004 Pp 5-14

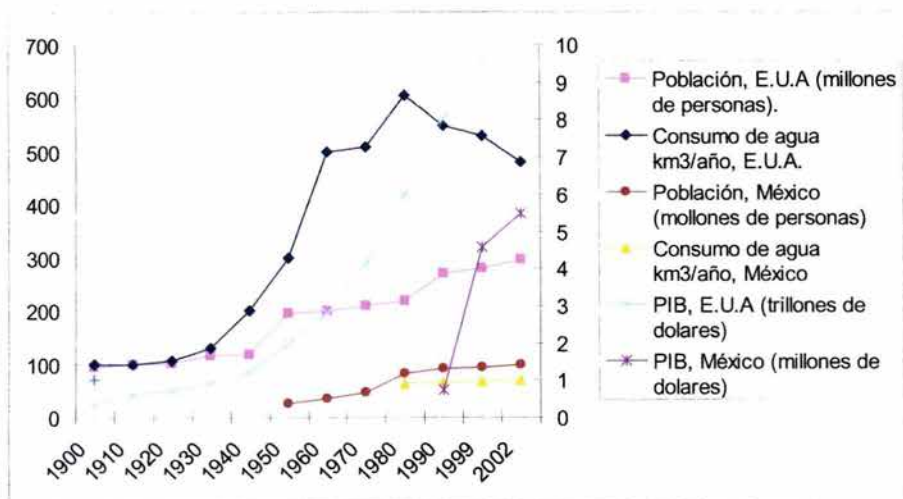
El artículo "Survey of water" menciona como problemas político-sociales que el servicio público es incapaz de satisfacer las necesidades del agua, que hay un rechazo de los activistas que argumentan que el agua debe ser gratuita y no debe tratarse como un negocio, además menciona el ejemplo de que en Manila el 50% del agua desaparece en la tubería ya sea por fugas o robo, y que el suministro de agua se da primero en las zonas ricas económicamente. En lo que se refiere a los problemas económicos argumenta que el servicio público pierde más de lo que invierte en el suministro de agua y que la privatización del agua implica un costo alto para los usuarios. Dentro de los problemas se geográficos menciona que los primeros en estar en contra de la privatización son aquellos que viven en lugares donde abunda el dinero y el agua, además de que las grandes compañías nunca se interesan en prestar servicio a ciudades de menos de 500,000 personas.<sup>22</sup> En otro artículo de la revista<sup>23</sup> se plantean como problemas político-sociales el almacenamiento del agua, debido a que se ha vuelto una cuestión de prestigio político el construir presas, así los países primer mundistas han construido muchas de estas y sin embargo, los países pobres no pueden costear una inversión de ese tamaño. Los problemas económicos indican que la construcción de presas es muy cara y no siempre redituable. En lo que se refiere a los problemas geográficos se menciona que la construcción de presas produce el desplazamiento de millones de personas. Una cuestión importante que se trata en el artículo "Irrigate and die"<sup>24</sup> es que las catástrofes de riego han hecho caer civilizaciones desde tiempo atrás, donde el principal problema es su manejo y no su escasez, también se menciona que la ingeniería moderna ha llevado los desastres de riego a una escala masiva.

Así mismo, para ejemplificar las diferencias del consumo de agua entre nuestro país y los Estados Unidos de América, se presentará una gráfica donde se compara la población de estos dos países, la cantidad de agua que consumen anualmente y su economía (producto interno bruto, PIB).

<sup>22</sup> John Peet. Private passions. *Priceless. A survey of water*. Reino Unido, 2004. Pp5-7

<sup>23</sup> John Peet. Damming evidence. *Priceless. A survey of water*. Reino Unido, 2004. Pp 9-11

<sup>24</sup> John Peet. Irrigate and die. *Priceless. A survey of water*. Reino Unido, 2004. Pp 11-13



**FIGURA 3.** Comparación de población, consumo de agua y P.I.B entre México y Estados Unidos.

Al analizar las gráficas de la figura 3 observamos que para Estados Unidos a principios del siglo XX, por cada millón de habitantes se consumía 1 km<sup>3</sup> de agua por año, es decir el consumo no excedía de la población que habitaba en ese tiempo; mientras que a partir de los años 30's el consumo de agua empezó a incrementar conforme a su economía, esto se puede observar en su P.I.B. Esta tendencia cambia aproximadamente en los años 80's donde el consumo de agua fue disminuyendo, por lo tanto, podemos pensar que esto se debió a la concientización acerca de la problemática del agua; y también podemos observar que el consumo de agua va disminuyendo a pesar de que su economía siga incrementándose. Sin embargo, aunque la diferencia de poblaciones es drástica, la tendencia del consumo de agua en México es similar a la que E.U.A. tenía a principios del siglo XX. Por lo tanto, se esperaría que México siga incrementando su economía y que su consumo de agua no se dispare como le sucedió a Estados Unidos; esto se podría realizar con la concientización de la población a cerca de la problemática del agua.

### 2.2.2. PROBLEMÁTICA DEL AGUA EN MÉXICO.

El agua de los mares y de los ríos ha sido usada tradicionalmente como medio de evacuación de los desperdicios humanos; los ciclos biológicos del agua aseguran la reabsorción de dichos desperdicios orgánicos reciclables. Sin embargo, ya no son solamente estos desperdicios los que se arrojan a ríos y mares, si no que actualmente se agregan desperdicios químicos nocivos que destruyen la vida animal y vegetal acuática, y que además anulan o exceden la acción de bacterias y algas en el proceso de biodegradación de los contaminantes orgánicos y químicos de las aguas. Los sitios con mayor desarrollo demandan cada vez mayores cantidades de agua y son los que aportan más contaminantes al descargar sus aguas residuales municipales e industriales a los mares y ríos, en muchas ocasiones sin ningún tratamiento. Así, en el año 2002 en la ciudad de México, Guadalajara y Monterrey se generaban 46, 10.2 y 10.5 metros cúbicos por segundo de agua residual ( $m^3/s$ ) respectivamente. En conjunto equivale al 39% del total a nivel nacional<sup>25</sup>.

Los contaminantes más frecuentes de las aguas son: materia orgánica, 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. Con frecuencia el sabor, el olor y el aspecto del agua indican que está contaminada, pero la presencia de contaminantes peligrosos sólo se puede detectar mediante pruebas químicas y biológicas específicas y precisas.

<sup>25</sup> Valdez, C.E, Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. ". Facultad de Ingeniería, UNAM. Pp. 4

De acuerdo al Plan Nacional de Hidrología (2001-2006), México se divide en trece regiones hidrológico-administrativas las cuales son :

- I. Península de Baja California
- II. Noroeste
- III. Pacífico Norte
- IV. Balsas
- V. Pacífico Sur
- VI. Río Bravo
- VII. Cuencas centrales del Norte
- VIII. Lerma-Santiago-Pacífico
- IX. Golfo del Norte
- X. Golfo Centro
- XI. Frontera Sur
- XII. Península de Yucatán
- XIII. Valle de México

Lo mencionado anteriormente se explicará con mayor claridad en el capítulo 3 (Distribución, Consumo y Normatividad del agua en México). Con base en el Plan Nacional de Hidrología (2001-2006) se mencionará la problemática de cada región-administrativa y su localización, con la finalidad de conocer los problemas existentes en cada estado de nuestro país.

REGIÓN	UBICACIÓN	PROBLEMÁTICA
I	Baja California Norte, Baja California Sur	Escasez Explosión socio-económica y demográfica (Fuerte demanda del agua) Sequías prolongadas Sobreexplotación de acuíferos Baja calidad del agua por intrusiones salinas en los acuíferos Deficiente tratamiento de aguas residuales Baja eficiencia de los sistemas de agua potable Baja eficiencia de riego
II	Sonora, Chihuahua	Deficiente suministro de agua potable y de alcantarillado Ineficiente uso y manejo del agua en la agricultura Contaminación de cuerpos de agua Insuficiente infraestructura de medición para calidad del agua Daños por inundación y sequías Competencia entre los usos del agua Sobreexplotación de acuíferos

III	Sinaloa, Durango, Nayarit, Chihuahua, Zacatecas	Deficiencias de riego Degradación de la calidad del agua superficial Degradación de la calidad de aguas subterráneas Inundaciones Sobreexplotación de acuíferos
IV	Morelos, Tlaxcala, Puebla, Estado de México, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Jalisco	Baja cobertura de agua potable en el medio rural Baja eficiencia en el uso del agua para riego Saneamiento escaso en el medio rural Contaminación de aguas superficiales y subterráneas Sobreexplotación de acuíferos Daños por fenómenos hidrometeorológicos extremos
V	Oaxaca, Guerrero	Baja cobertura de agua potable en centros urbanos y comunidades rurales Baja cobertura de alcantarillado y saneamiento en comunidades rurales Baja eficiencia en el uso del agua para riego Degradación de la calidad de los cuerpos de agua Daños por fenómenos hidrometeorológicos extremos
VI	Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas	Escasez Uso ineficiente Contaminación por efluentes industriales y municipales Sobreexplotación de acuíferos
VII	Durango, Zacatecas, Coahuila, San Luis Potosí, Nuevo León, Tamaulipas.	Deficiencia en la calidad del servicio de agua potable y de alcantarillado Sobreexplotación de acuíferos Degradación de la calidad del agua Competencia de los usuarios por su uso
VIII	Colima, Aguascalientes, Nayarit, Querétaro, México, Jalisco, Guanajuato, Michoacán, Zacatecas	Escasez de aguas superficiales Disminución de los niveles del Lago de Chapala Contaminación de las aguas superficiales, ríos, presas y lagos Sobreexplotación y contaminación de acuíferos Oferta insuficiente para satisfacer las demandas de agua Baja eficiencia en su aprovechamiento para el sector agrícola y urbano Sequías Inundaciones

IX	Hidalgo, San Luis Potosí, Tamaulipas, Veracruz, Querétaro, Guanajuato, Edo. De México, Nuevo León.	Baja cobertura en el servicio de agua potable Baja cobertura del alcantarillado Uso ineficiente para uso agrícola Degradación de su calidad Sobreexplotación de acuíferos
X	Veracruz, Oaxaca, Puebla, Hidalgo	Baja cobertura de agua potable Baja cobertura del alcantarillado Contaminantes de corrientes superficiales Infraestructura hidroagrícola desaprovechada Inundaciones Escasez
XI	Chiapas, Tabasco, Campeche, Oaxaca	Deficiente e insuficiente agua potable Resago en el servicio de agua potable Bajo aprovechamiento del agua superficial Inundaciones Contaminación de corrientes superficiales
XII	Yucatán, Quintana Roo	Contaminación de acuíferos por descarga de aguas residuales Degradación de la calidad del agua Deficiente servicio de agua potable No existe desarrollo agrícola Insuficiente información en los sistemas de medición y monitoreo.
XIII	Zona metropolitana de la Ciudad de México	Sobreexplotación de acuíferos Suministro insuficiente de agua potable Ineficiencia del agua para usos agrícolas Inundaciones

### 2.3. ANTECEDENTES DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

Muchos de los procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en los sistemas naturales acuáticos (ríos, lagos, mares y lagunas) han sido incorporados a los sistemas de tratamientos de aguas residuales creados por la ingeniería; en estos se controlan las variables del sistema y se maximiza la rapidez de ocurrencia de los procesos minimizando el tiempo requerido para la purificación.



Por lo tanto, por razones de salud pública es muy importante mantener la calidad del agua de los sistemas naturales. Dicha calidad es afectada por varios factores, entre ellos, la descarga de las aguas residuales y otras actividades humanas.

#### 2.4. ANTECEDENTES HISTÓRICOS DEL MANEJO DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Una de las mayores preocupaciones en la historia de la humanidad ha sido el procurarse agua lo más pura y limpia posible. Esto tiene lugar en el abastecimiento y evacuación de agua cuando empieza el crecimiento de las ciudades antiguas, centros religiosos y comerciales<sup>26</sup>.

La historia del agua potable es muy remota. En Siria y Babilonia se construyeron acueductos para acercar el agua desde sus fuentes a lugares próximos a las viviendas<sup>27</sup>. Los antiguos pueblos orientales usaban arena y barro poroso para filtrar el agua. En China, en la tumba de una de los reyes de la dinastía Han del Este de este país en el año 206 antes de nuestra era se descubrió el inodoro más antiguo<sup>28</sup>. En el antiguo Egipto dejaban reposar el agua en vasijas de barro durante varios meses para dejar precipitar las partículas e impurezas, y mediante un sifón extraían el agua de la parte superior (decantación), en otras ocasiones incorporaban ciertas sustancias minerales y extractos vegetales para facilitar la precipitación de partículas y clarificar el agua (coagulación).

Los primeros ingenieros de la antigua Roma construyeron grandes acueductos y drenajes. Sin embargo, fue hasta la revolución industrial cuando se tomó el control definitivo de la calidad de agua debido al crecimiento de las ciudades y poblados surgidos a consecuencia de este movimiento en el siglo XIX; casi todos estos drenajes eran clandestinos y solamente estaban contruidos para llevarse el escurrimiento de aguas de tormenta y desechos fecales. En el siglo XIX la población más humilde se situaba alrededor de los desechos por no tener alcantarillado. Por lo consiguiente, entrado el siglo XX el alcantarillado se

<sup>26</sup> Gordon M. Fair. Purificación, Tratamiento y Remosión de Aguas Residuales, Ed. Limusa, 1996.

<sup>27</sup> Ibid. P.15

<sup>28</sup> Excelsior, 26 Julio del 2000

transformo en un sistema de limpieza municipal. Al ver que el drenaje ofrece un medio económico y fácil para resolver el problema de la recepción de las materias fecales, el resultado fue el uso de un drenaje combinado que tenía recepción de aguas de lluvia como aguas negras que se descargaban cerca de ríos y lagos. Por este motivo fueron contaminados a un grado que el hedor era insoportable, por lo que tuvieron que cubrir y hacer colectores de corrientes pequeñas.

El sistema de alcantarillas de las ciudades no solucionó completamente el problema de la evacuación de los residuos. El tratamiento de las aguas residuales se retrasó considerablemente con respecto a su colección y el tratamiento fue considerado necesario después de que excedió la capacidad de autopurificación de los cuerpos receptores y sus condiciones se volvieron intolerables. Al enfrentarse a este problema a finales del siglo XIX y principios del XX se diseñaron varios procesos de tratamiento. Alrededor de 1920, el tratamiento de las aguas residuales había evolucionado hasta llegar a los procesos que hoy se usan comúnmente. Sin embargo, el diseño de las plantas de tratamiento de aguas residuales se hizo empíricamente hasta mediados del siglo XX. A partir de 1960 se tuvieron avances importantes en el conocimiento del tratamiento de aguas residuales, y se formularon y cuantificaron los procesos originales. En los esquemas 4 A y 4 B se muestra la cronología de los hechos más relevantes en el desarrollo del tratamiento de las aguas residuales, observando que los problemas de esta materia se han abarcado principalmente en los dos últimos siglos de la historia<sup>29</sup>.

En el esquema 4 A se muestra la cronología de la construcción de los acueductos Romanos, los cuales fueron los primeros avances en tecnología de aguas. Como se observa los Romanos elaboraron los acueductos con el fin de transportar el agua de lluvia a los ríos; elaborando así, el sistema de transporte de agua más extenso de la antigüedad. El primero que construyeron fue un acueducto subterráneo de 16 km de longitud y fue dirigido durante el mandato de Apio Claudio (llamado el Ciego), por lo cual se le llamó

---

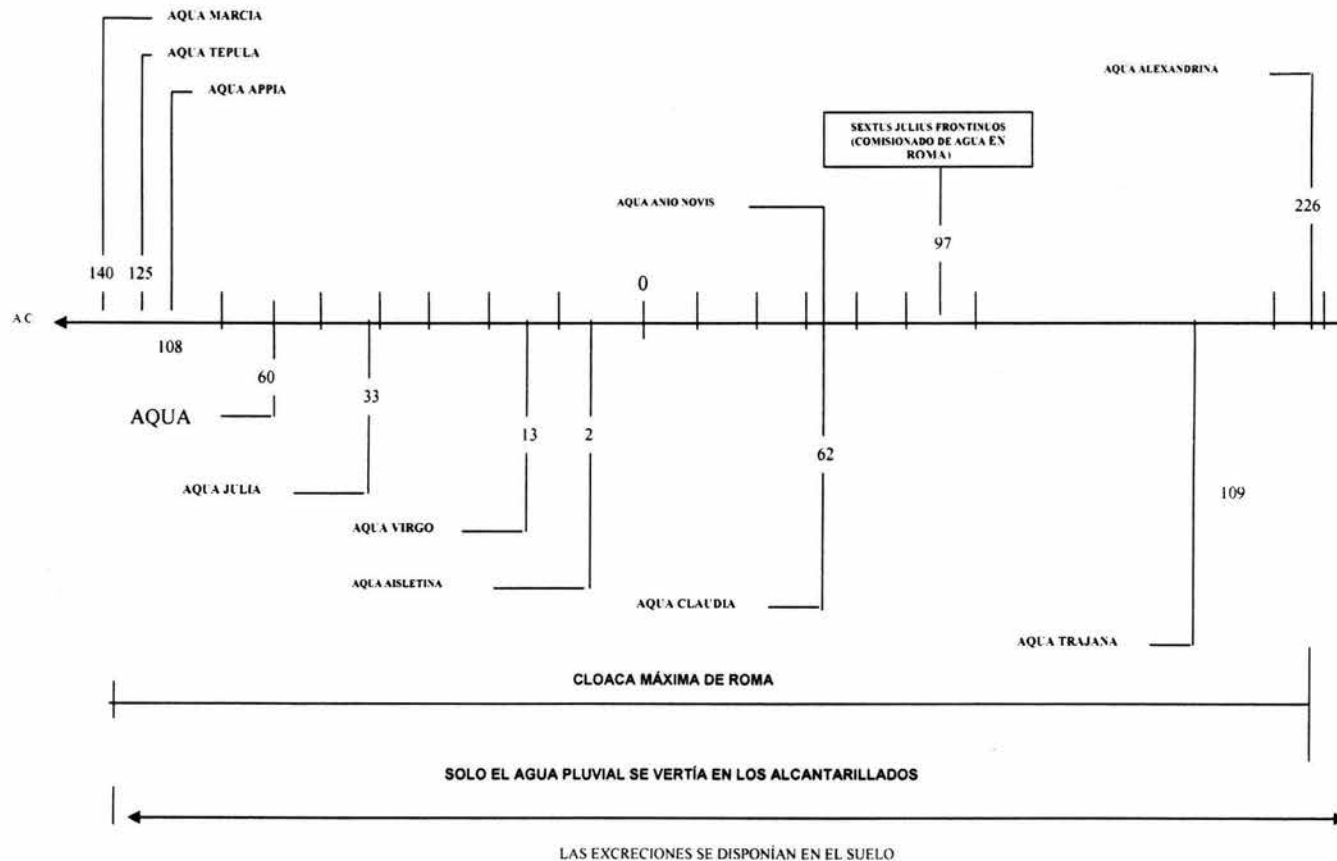
<sup>29</sup> Valdez, C.E. Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. ". Facultad de Ingeniería, UNAM. Pp. 7

Aqua Apia. Desde el año 108 a.C y hasta llegar al Aqua Alexandrina en el año 226 d.C culmina la construcción de los acueductos romanos.

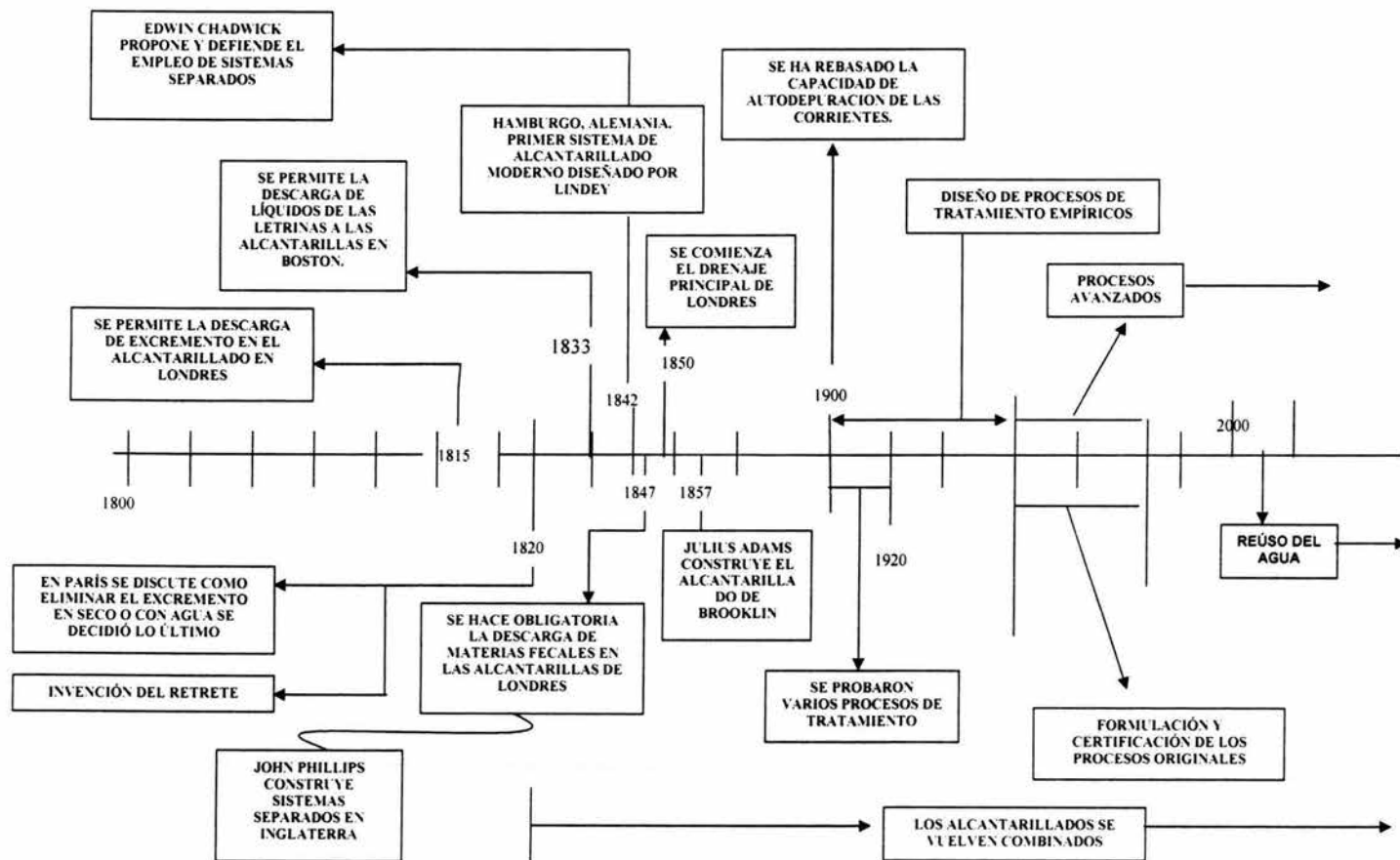
El primer acueducto romano que transportaba el agua sobre la superficie del suelo fue el Aqua Marcia, en Roma, tenía una longitud de 90 km y fue construido por Marcio en el año 144 a.C. La sección de este acueducto soportada por puentes medía aproximadamente 16 km; diez acueductos suministraban agua a la antigua ciudad de Roma, aproximadamente 140,000 m<sup>3</sup> de agua al día.

Por otra parte, en el esquema 4 B observamos que en el año de 1815 en Boston ya se permitía la descarga de excremento en el alcantarillado, por lo que empieza la contaminación de las corrientes. Mientras tanto, en París, cinco años después todavía no se sabía si el excremento se eliminaría en seco o en agua, finalmente se opto por lo último. Mientras tanto, en 1842 en Alemania se construía el primer sistema de alcantarillado moderno y en ese mismo tiempo se discutía la posibilidad de hacer un drenaje separado. Ya para el año 1900 se había rebasado la capacidad de autodepuración de las corrientes; de aquí en adelante el tema de tratamiento de aguas era de suma importancia. En 1920 se evaluaron varios tratamientos y se diseñaron procesos empíricos, y desde los años 50's los tratamientos de aguas son como se conocen en la actualidad. Debido a la grave contaminación de las corrientes los alcantarillados se volvieron combinados. Tales antecedentes hicieron que entrado el año 2000 comenzará el reuso del agua.

En México, durante la mayor parte del siglo XX el tratamiento de las aguas residuales no se realizo de manera extendida, mediante la ausencia de leyes o medios apropiados para hacerlas cumplir.



ESQUEMA 4A. Cronología de los hechos más relevantes en el desarrollo del tratamiento de aguas.



ESQUEMA 4B. Cronología de los hechos más relevantes en el desarrollo del tratamiento de aguas.

## 2.5. PROPÓSITO DEL TRATAMIENTO<sup>30</sup>.

El propósito principal del tratamiento de aguas residuales es la remoción de sustancias contaminantes para cumplir principalmente con los siguientes objetivos:

- Proteger la salud pública y los ecosistemas.
- Reducir el uso de agua potable al reusar el agua tratada.
- Evitar efectos negativos en la calidad de los cuerpos receptores.
- Controlar la calidad del agua para cumplir con la legislación.
- Recuperar y restaurar los cuerpos receptores de agua como hizo Europa con los ríos Tamesi y Danubio, y como está haciendo México con el río Lerma.
- En las empresas para cumplir con la norma ISO14000 y con los objetivos de “Calidad Total” en los procesos de certificación.

## 2.6. REUSOS DE LAS AGUAS TRATADAS<sup>31</sup>.

El reuso de las aguas tratadas se puede considerar como un método complementario a los métodos existentes en el medio ambiente (autopurificación).

La cantidad de agua tratada dependerá de:

1. Disponibilidad de las aguas residuales para tratamiento.
2. Costos del agua de uso potable en comparación con los costos de tratamiento y de conducción.
3. De los criterios, estándares o normas de la calidad del agua.
4. Del potencial del reuso del agua tratada.

<sup>30</sup> Metcalf and Eddy. Waster water engineering treatment disposal and reuse. Ed. Mc Graw-Hill. INC 1991. Pp. 20.

<sup>31</sup> Ibid, pp 46.

De acuerdo a sus aplicaciones el reuso del agua tratada se clasifica en:

Reuso potable: Recarga de acuíferos, dilución en aguas naturales.

Reuso doméstico: Que el suministro del agua tratada se rehúse en excusados, mingitorios y riego de áreas verdes y rellenos sanitarios.

Reuso municipal: Riego de áreas verdes, campos de golf, lavados de calles.

## CAPÍTULO 3. DISTRIBUCIÓN, CONSUMO Y NORMATIVIDAD DEL AGUA EN MÉXICO

### 3.1. DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN MÉXICO.

Los recursos hidrológicos son de vital importancia para el desarrollo socioeconómico de México. Sin embargo, la gran diversidad fisiográfica y climática del país hace que el agua no esté distribuida regularmente. La información hidrológica del agua en México es agrupada por regiones hidrológicas; la regionalización fue elaborada en los años 60 por la entonces Dirección Hidrológica de la Secretaría de Recursos Hidráulicos.

La planeación hidráulica toma como unidades geográficas trece regiones hidrológico-administrativas definidas por la Comisión Nacional del Agua. Cada región esta constituida por una o varias cuencas, de esta manera se garantiza que la cuenca hidrológica se constituya como la base del manejo de agua.

En la figura 4, se muestra la ubicación geográfica de cada región hidrológica-administrativa en el país.



**FIGURA 4.** Localización de las Regiones Hidrológicas- Administrativa<sup>28</sup>

<sup>28</sup> Plan Nacional de Hidrología (2001-2006), C.N.A



En el Plan Nacional de Desarrollo (2001-2006) se han dividido cinco mesorregiones definidas por criterios económicos, políticos, sociales y administrativos. En la figura 5 se muestra la interrelación entre mesorregiones y regiones hidrológicas-administrativas.

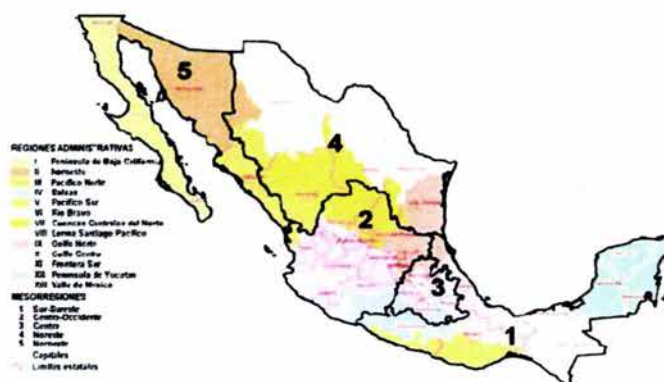


FIGURA 5. Relación entre mesorregiones y regiones hidrológicas-administrativas<sup>29</sup>

En el cuadro 4 se muestra la disponibilidad de agua que existe en cada Región Administrativa de nuestro país.

Región Administrativa		Precipitación media	Disponibilidad base media	Escorrentamiento superficial medio	Recarga media de acuíferos.	Extracción total bruta de agua
		(mm)	(1941-2001) (hm <sup>3</sup> )	(hm <sup>3</sup> )	(hm <sup>3</sup> )	(2001) (hm <sup>3</sup> )
I	Península de Baja California	181	4423	3012	1143	4285
II	Noroeste	368	7957	5459	2498	6013
III	Pacífico Norte	731	2446	21879	2581	8163
IV	Balsas	929	28911	24944	3697	9328
V	Pacífico Sur	1119	33135	31648	1667	1473
VI	Río Bravo	403	14267	9204	5063	7071

CUADRO 4. Disponibilidad de agua en México.<sup>30</sup>

<sup>29</sup> Plan Nacional de Hidrología (2001-2006), C.N.A

Región Administrativa		Precipitación media	Disponibilidad base media	Escorrentamiento superficial medio	Recarga media de acuíferos.	Extracción total bruta de agua
			(1941-2001)			(2001)
		(mm)	(hm <sup>3</sup> )	(hm <sup>3</sup> )	(hm <sup>3</sup> )	(hm <sup>3</sup> )
VII	Cuenca Centrales del Norte	370	6823	4729	2094	6321
VIII	Lerma-Santiago-Pacífico	981	36808	29652	7156	13861
IX	Golfo Norte	760	23629	22355	1274	4186
X	Golfo Centro	1788	102405	96930	3615	3733
XI	Frontera Sur	2320	155938	139004	16934	1553
XII	Península de Yucatán	1138	26946	1348	25148	1838
XIII	Valle de México	767	3885	1996	1809	4738
Nacional	772	469199	393980	75219	72564	

CUADRO 4. Disponibilidad de agua en México<sup>31</sup> (continuación).

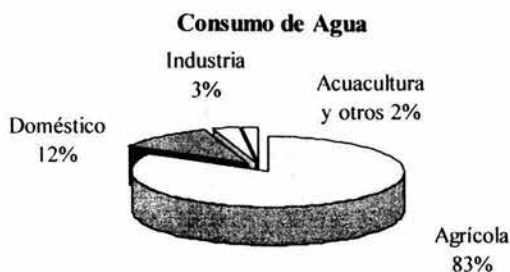
### 3.2. CONSUMO DEL AGUA EN MÉXICO.

El agua superficial se utiliza en su mayor parte para generar electricidad (113 km<sup>3</sup>) en plantas termo e hidroeléctricas. Puesto que esta agua vuelve a su cauce y se le puede dar otro uso, se considera que no se consume. El volumen total consumido tanto de aguas superficiales como subterráneas asciende a 73 km<sup>3</sup>, de los cuales el mayor porcentaje le corresponde al sector agrícola con 61 km<sup>3</sup> (83%), y después al uso doméstico amplio con 8.5 km<sup>3</sup> (12%). La industria utiliza 2.5 km<sup>3</sup> (3%), y en acuicultura intensiva y otros se invierte 1.4 km<sup>3</sup> (2%). En la Figura 6 se muestran estos porcentajes gráficamente<sup>32</sup>.

<sup>30</sup> Plan Nacional de Hidrología (2001-2006), C.N.A

<sup>31</sup> Plan Nacional de Hidrología (2001-2006), C.N.A

<sup>32</sup> Ibid.



**FIGURA 6.** Consumo del Agua en México.<sup>33</sup>

Además, en este capítulo se examinará el tema de control de la contaminación del agua, el cual está dado por leyes, reglamentos, normas oficiales mexicanas ( NOM ) y normas mexicanas (NMX).

### 3.3. GENERACIÓN DE AGUAS RESIDUALES.

El balance de descarga de aguas residuales urbanas, industriales y agrícolas dentro del país arroja cifras considerables. En total, se descargan anualmente  $20 \text{ km}^3$  ( $634 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

La agricultura contribuye con el 62% del total de las aguas residuales ( $337 \text{ m}^3/\text{s}$ ), le sigue el sector doméstico que aporta el 28% ( $231 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y por último la industria, con sólo el 10% ( $64.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ). En la figura 7 se muestra gráficamente el porcentaje de aguas residuales generadas por sector.



**FIGURA 7.** Aguas Residuales Generadas por Sector.

<sup>33</sup> Plan Nacional de Hidrología (2001-2006), C.N.A

### **3.4. NORMATIVIDAD.**

Conocer la normatividad que rigen las aguas nacionales en nuestro país es de gran importancia porque esta es la base que nos presenta los parámetros de calidad del agua que se deben tener para sus diversos usos (potable, agrícola, industrial, etc.). Por lo tanto, este trabajo muestra el sistema jurídico que rige en nuestro país, basándose principalmente en la Ley Nacional de Aguas. En seguida se menciona un poco de historia referente a la normatividad de las aguas.

En México, El Código Sanitario de los Estados Unidos Mexicanos publicado en el año 1955 ya contemplaba el problema de la contaminación de las aguas. Posteriormente, la Secretaría de Salubridad y Asistencia logró en 1972 que se promulgara la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental; en 1973 se expidió el “Reglamento para prevenir y controlar la contaminación de aguas” que actualmente sigue vigente con algunas modificaciones y forma parte de la actual Ley General del Equilibrio Ecológico y de Protección de Ambiente, publicada en el año 1994.

En nuestro país, la normatividad tiene su origen en la Carta Magna. Posteriormente, se elaboró la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que contiene los siguientes artículos referentes a las aguas residuales: artículo 4° (protección de la salud), artículo 27° (Propiedad, cuidado y conservación de las aguas y recursos nacionales), artículo 73° fracción XVI (Consejo de Salubridad General) y artículo 115 (da la responsabilidad a los municipios del manejo de las aguas residuales para sus poblaciones).

De los artículos de la Constitución mencionados anteriormente se derivan la Ley Federal de Aguas Nacionales por ser propiedad de la Nación. Por otra parte, en las Leyes Generales participan los Estados y Municipios.

De las Leyes se derivan los Reglamentos, así tenemos el Reglamento de Aguas Nacionales, el Reglamento para Prevenir y Controlar la Contaminación de las Aguas donde se establecen las características de los cuerpos de agua y el Reglamento de la Ley General de Salud en Relación a productos, establecimientos y servicios.

De los Reglamentos se derivan las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) como son en este caso las que establecen las características de las descargas de cuerpos receptores y otras que determinan las características físicas, químicas y bacteriológicas del agua potable. Por otra parte se tienen las Normas Mexicanas (NMX) que aunque no son obligatorias sirven como guías que homogenizan acciones. En el Cuadro 5 se muestra la estructura hidrojurídica mexicana.

CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS		<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ ARTÍCULO 4º: Salud.</li> <li>➤ ARTÍCULO 27º: Aguas propiedad nacional.</li> <li>➤ ARTÍCULO 73º: Consejo de Salubridad.</li> <li>➤ ARTÍCULO 115º: Municipios.</li> </ul>	
LEYES	FEDERALES	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ NORMALIZACIÓN Y METROLOGÍA.</li> <li>➤ AGUAS NACIONALES</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ ART. 85 AL 96</li> <li>➤ Todo</li> </ul>
	GENERALES	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y PROTECCIÓN DEL AMBIENTE</li> <li>➤ SALUD</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ ART. 117 AL 133.</li> <li>➤ ART. 116, 118 Y 122.</li> </ul>
REGLAMENTOS		<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ AGUAS NACIONALES.</li> <li>➤ PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA.</li> <li>➤ ESTABLECIMIENTOS Y SERVICIOS.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>➤ ART. 133 AL 156.</li> <li>➤ ART. 5 AL 29.</li> <li>➤ ART. 1335 AL 1346</li> </ul>

**CUADRO 5.** Estructura hidrojurídica mexicana.

Para profundizar un poco más en el tema a continuación se transcriben parte de los principales documentos normativos. En el anexo 2 se incluyen las normas vigentes, un resumen de la ley nacional de aguas y la Ley de Metrología y Normalización en materia de Metrología.

### **CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS.**

**ART. 4º.** Toda persona tiene derecho a la protección de la salud.

**ART.27º.** La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional corresponde originalmente a la Nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada.

**ART.73º.** El Congreso tiene la facultad de: Dictar leyes sobre salubridad general de la República.

**ART.115º.** FRACCIÓN III. Los municipios, con el concurso de los estados cuando así fuere necesario y lo determinen las leyes, tendrá a su cargo los siguientes servicios públicos:

- a) Agua Potable y Alcantarillado.
- b) Alumbrado Público.
- c) Limpia.
- d) Mercados y Centrales de abasto.
- e) Panteones.
- f) Rastros.
- g) Calles, parques y jardines.
- h) Seguridad pública y tránsito.

**LEY GENERAL DE SALUD (7 Febrero 1984)**

CAPITULO IV.- Efectos del ambiente en la Salud.

**ART.116°.** Las autoridades sanitarias establecerán las normas, tomarán medidas y realizarán las actividades a las que se refiere esta Ley, tendientes a la protección de la salud humana ante los riesgos y daños dependientes de las condiciones del ambiente.

**ART.118°.** Corresponde a la Secretaría de Salud.

- I. Determinar los valores de concentración máxima permisible para el ser humano de contaminantes en el ambiente.
- II. Emitir las normas técnicas a las que deberá sujetarse el tratamiento del agua para uso y consumo humano.
- III. Establecer criterios sanitarios para el uso, tratamiento y disposición de aguas residuales, para evitar riesgos y daños a la salud pública.
- IV. Apoyar el saneamiento básico.
- V. Asesorar en criterios de ingeniería sanitaria de obras públicas y privadas para cualquier uso.

**ART.122°.** Queda prohibida la descarga de aguas residuales o contaminantes en cualquier cuerpo de agua superficial o subterráneo, cuyas aguas se destinen para uso o consumo humano. Los usuarios en su servicio de aguas que posteriormente sean utilizadas para uso o consumo de la población, estarán obligados a darles el tratamiento correspondiente a fin de evitar riesgos para la salud humana, de conformidad con las disposiciones aplicables.

**LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y PROTECCIÓN AL**

**AMBIENTE. (1º Marzo 1988 y Reformada en 1996).**

CAPITULO II.- Prevención y control de la Contaminación del Agua y de los Ecosistemas Acuáticos.

**ART. 117º.** Para la prevención y control de la contaminación del agua se consideran los siguientes criterios:

- ✓ Las aguas residuales de origen urbano deben recibir tratamiento previo a su descarga en ríos, vasos, cuencas marinas y demás depósitos o corrientes de agua incluyendo las aguas de subsuelo.

**ART. 118º.** Los criterios para la prevención y control de la contaminación del agua serán consideradas en:

- ✓ El establecimiento de criterios sanitarios para el uso, tratamiento y disposición de agua residuales, para evitar riesgos y daños a la salud pública.
- ✓ La formulación de las normas técnicas que deberán satisfacer el tratamiento del agua para el uso y consumo del agua.

**ART.119º.** Para la prevención y control de la contaminación del agua corresponderá:

I.- A la secretaría:

- a) Expedir a la coordinación con la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, y las demás autoridades competentes, normas técnicas para el vertimiento de aguas residuales en redes colectoras, cuencas, causes, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua.
- b) Emitir los criterios, lineamientos, requisitos y demás condiciones que satisfagan la regulación del alejamiento, explotación, uso o aprovechamiento de aguas residuales, a fin de evitar contaminación que afecte el equilibrio de los ecosistemas o a sus



componentes, y en su caso, en coordinación con la Secretaría de Salud, cuando se ponga en peligro la salud pública.

- c) Expedir las normas técnicas ecológicas a las que se sujetará el almacenamiento de aguas residuales, con la intervención que en su caso compete a otras dependencias.
- d) Dictaminar las solicitudes de permisos para infiltrar o descargar aguas residuales en terrenos o cuerpos distintos de los alcantarillados.
- e) Fijar condiciones particulares de descarga cuando se trate de aguas residuales.
- f) Fijar condiciones particulares de descarga a quienes generen aguas residuales captadas por sistemas de alcantarillado, cuando dichos sistemas viertan en corrientes de aguas nacionales.
- g) Promover el reuso de las aguas residuales tratadas en actividades agrícolas e industriales.
- h) Determinar el proceso de tratamiento de las aguas residuales.
- i) Resolver sobre las solicitudes de autorización para el establecimiento de plantas de tratamiento y sus descargas conjuntas cuando provengan de dos o más obras. Esta autorización se otorgará solo por la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.
- j) Promover la incorporación de sistemas de separación de las aguas residuales de origen doméstico de aquellas de origen industrial en los drenajes del centro de la población.

II. A la Secretaría en coordinación con la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos y la Secretaría de Salud.

- ✓ Expedir las normas técnicas ecológicas para el uso y aprovechamiento de aguas residuales.
- ✓ Emitir opinión a la que deberá sujetarse la programación y construcción de nuevas industrias que puedan producir descargas de contaminantes de aguas residuales, así como las obras para purificar las aguas residuales de procedencia industrial.
- ✓ Expedir las normas técnicas ecológicas que deberán observarse para el tratamiento de las aguas residuales de origen urbano que se destinen a la agricultura e industria.

III. A la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, resolver sobre las solicitudes de concesión, permisos o autorización que se formule, para la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas residuales. A la Secretaría, expedir normas técnicas para la explotación de obras relacionadas con el: alejamiento, tratamiento y destino de las aguas residuales conocidas o no por sistemas de alcantarillado.

V. A los Estados y Municipios:

- a) El control de las descargas de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado.
- b) Requerimiento de sistemas de tratamiento a quienes generen descargas a dichos sistemas.
- c) Determinar el monto de los derechos correspondientes para que el municipio o autoridad estatal respectiva lleve a cabo el tratamiento necesario, en su caso, proceder a la imposición de las sanciones que haya lugar.
- d) Llevar y actualizar el registro de descargas a las redes nacionales.

**ART.120°.** Para evitar la contaminación del agua, quedan sujetos a regulación federal o local:

- a) Las descargas de origen industrial.
- b) Las descargas de origen municipal y mezcla incontrolada de otras descargas.
- c) Las descargas derivadas de actividades agropecuarias.

**ART: 121°.** No permitirán descargarse o infiltrarse en cualquier cuerpo o corriente de agua o en el suelo o subsuelo aguas residuales que contengan contaminantes, sin previo tratamiento y sin el permiso de la autoridad federal o local.

**Art. 122°.** Las aguas residuales provenientes de usos municipales, públicos o domésticos y de usos industriales o agropecuarios que descarguen en los sistemas de alcantarillado de las poblaciones o en aguas nacionales, así como las que por cualquier medio se infiltren en el subsuelo, y en general, las que derramen en suelos, deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir:

- I. Contaminación de los cuerpos receptores.
- II. Interferencias en los procesos de depuración de las aguas.
- III. Trastornos, impedimentos o alteraciones en el funcionamiento adecuado de los sistemas.

**ART. 123°.** Todas las descargas en las redes colectoras, ríos, cuencas, cauce, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua y los derrames de aguas residuales en los suelos o su infiltración en terrenos deberán satisfacer las normas técnicas ecológicas.

**ART. 124°.** Cuando las aguas residuales afecten fuentes de abastecimiento de agua, la Secretaría promoverá la negativa del permiso o su inmediata revocación.

**ART. 125°.** La Secretaría determinara los usos de las cuencas de aguas nacionales y las condiciones de descarga de los sistemas de tratamiento que deberán instalar las dependencias.

**ART. 126°.** Los equipos de tratamiento de aguas residuales de origen urbano que se diseñen, operen o administren los municipios, deberán cumplir con las normas técnica ecológicas que al efecto se expidan.

**ART. 127°.** La Secretaría emitirá su opinión con base a estudios de cuencas y sistemas correspondientes, para la programación y construcción de obras de purificación de aguas residuales de origen industrial.

**ART. 128°.** Las aguas residuales provenientes del alcantarillado podrán utilizarse en la industria y agricultura si se someten en caso que lo requiera al tratamiento que cumpla con las normas técnicas.

### **LEY DE AGUAS NACIONALES (1° Diciembre 1992)**

Título Séptimo.

Prevención y Control de la Contaminación de las aguas.

**ARTÍCULO 85°.** Es de interés público la promoción y ejecución de las medidas y acciones necesarias para proteger la calidad del agua, en los términos de ley.

**ARTÍCULO 86°.** "La Comisión" tendrá a su cargo:

- I. Promover, ejecutar y operar la infraestructura federal y los servicios necesarios para la preservación, conservación y mejoramiento de la calidad del agua en las cuencas hidrológicas y acuíferos.
- II. Formular programas integrales de protección de los recursos hidráulicos en cuencas hidrológicas y acuíferos.

III. Establecer y vigilar el cumplimiento de las condiciones particulares de descarga que deben satisfacer las aguas residuales que se generen en bienes y zonas de jurisdicción federal, de aguas residuales vertidas directamente en aguas y bienes nacionales, o en cualquier terreno cuando dichas descargas puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos.

IV. Autorizar el vertido de aguas residuales en el mar, en coordinación con la Secretaría de Marina cuando provengan de fuentes móviles o plataformas fijas.

V. Vigilar en coordinación con las demás autoridades competentes, que el agua suministrada para consumo humano cumpla con las normas de calidad correspondientes, y que el uso de las aguas residuales cumpla con las normas de calidad del agua emitidas para tal efecto.

VI. Promover o realizar las medidas necesarias para evitar que, basura, desechos, materiales y sustancias tóxicas, y lodos, producto de los tratamientos de aguas residuales, contaminen las aguas superficiales o del subsuelo y

VII. Ejercer las atribuciones que corresponden a la Federación en materia de prevención y control de la contaminación del agua y de su fiscalización y sanción, en los términos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

**ARTÍCULO 87º.** "La Comisión" determinará los parámetros que deberán cumplir las descargas, la capacidad de asimilación y dilución de los cuerpos de aguas nacionales y las cargas de contaminantes que éstos pueden recibir, mediante la expedición de Declaratorias de Clasificación de los Cuerpos de Aguas Nacionales. Las declaratorias contendrán:

I. La delimitación del cuerpo de agua clasificado.

II. Los parámetros que deberán cumplir las descargas según el cuerpo de agua clasificado conforme a los períodos previstos en el reglamento de esta ley.

III. La capacidad del cuerpo de agua clasificado para diluir y asimilar contaminantes.

IV. Los límites máximos de descarga de los contaminantes analizados, base para fijar las condiciones particulares de descarga.

**ARTÍCULO 88°.** Las personas físicas o morales requieren permiso de "La Comisión" para descargar en forma permanente, intermitente o fortuita aguas residuales en cuerpos receptores que sean aguas nacionales o demás bienes nacionales, incluyendo aguas marinas, así como cuando se infiltren en terrenos que sean bienes nacionales o en otros terrenos cuando puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos. "La Comisión" mediante acuerdos de carácter general por cuenca, acuífero, zona, localidad o por usos, podrá sustituir el permiso de descarga de aguas residuales por un simple aviso. El control de las descargas de aguas residuales a los sistemas de drenaje o alcantarillado de los centros de población, corresponde a los municipios, con el concurso de los Estados cuando así fuere necesario y lo determinen las leyes.

**ARTÍCULO 89°.** "La Comisión", otorgará los permisos que deberá tomar en cuenta la clasificación de los cuerpos de aguas nacionales a que se refiere el artículo 87, las normas oficiales mexicanas correspondientes y las condiciones particulares que requiera cumplir la descarga. Cuando el vertido o descarga de las aguas residuales afecten o puedan afectar fuentes de abastecimiento de agua potable o a la salud pública, "La Comisión" lo comunicará a la autoridad competente y dictará la negativa del permiso correspondiente o su inmediata revocación y, en su caso, la suspensión del suministro del agua en tanto se eliminan estas anomalías.

**ARTÍCULO 90°.** "La Comisión" en los términos del reglamento expedirá el permiso de descarga de aguas residuales, en el cual se deberá precisar por lo menos la ubicación y descripción de la descarga en cantidad y calidad, el régimen al que se sujetará para prevenir y controlar la contaminación del agua y la duración del permiso.

Cuando las descargas de aguas residuales se originen por el uso o aprovechamiento de aguas nacionales, los permisos de descarga tendrán, por lo menos, la misma duración que el título de concesión.

**ARTÍCULO 91°.** La infiltración de aguas residuales para recargar acuíferos, requiere permiso de "La Comisión" y deberá ajustarse a las normas oficiales mexicanas que al efecto se emitan.

**ARTÍCULO 92°.** "La Comisión", en el ámbito de su competencia, podrá ordenar la suspensión de las actividades que den origen a las descargas de aguas residuales:

I. Cuando no se cuente con el permiso de descarga de aguas residuales en los términos de esta ley.

II. Cuando la calidad de las descargas no se sujete a las normas oficiales mexicanas correspondientes.

III. Cuando se deje de pagar el derecho por el uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la Nación como cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales.

IV. Cuando el responsable de la descarga utilice el proceso de dilución de las aguas residuales para tratar de cumplir con las normas oficiales mexicanas respectivas o las condiciones particulares de descarga, la suspensión será sin perjuicio de la responsabilidad civil, penal o administrativa en que se hubiera podido incurrir.

**REGLAMENTO DE LA LEY DE AGUAS NACIONALES (1° Diciembre 1992).**

Título Séptimo.

Prevención y Control de la Contaminación de las Aguas.

**ARTÍCULO 133°.** Para los efectos de las fracciones IV, V y VII, del artículo 86° de la "Ley", "La Comisión" ejercerá las facultades que corresponden a la autoridad federal en materia de prevención y control de la contaminación del agua, conforme a lo establecido en la propia "Ley" y en este "Reglamento", así como en la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, excepto aquellas que conforme a la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal y otras disposiciones legales, estén atribuidas a otra dependencia.

**ARTÍCULO 134°.** Las personas físicas o morales que exploten, usen o aprovechen aguas en cualquier uso o actividad, están obligadas, bajo su responsabilidad y en los términos de ley, a realizar las medidas necesarias para prevenir su contaminación y en su caso para reintegrarlas en condiciones adecuadas, a fin de permitir su utilización posterior en otras actividades o usos, y mantener el equilibrio de los ecosistemas.

**ARTÍCULO 135°.** Las personas físicas o morales que efectúen descargas de aguas residuales a los cuerpos receptores a que se refiere la "Ley", deberán:

- I. Contar con el permiso de descarga de aguas residuales que les expida "La Comisión", o en su caso, presentar el aviso respectivo a que se refiere la "Ley" y este Reglamento.
- II. Tratar las aguas residuales previamente a su vertido a los cuerpos receptores, cuando esto sea necesario para cumplir con las obligaciones establecidas en el permiso de descarga correspondiente.



III. Cubrir, cuando proceda, el derecho federal por el uso o aprovechamiento de bienes del dominio público de la Nación como cuerpos receptores de las descargas de aguas residuales.

IV. Instalar y mantener en buen estado, los dispositivos de aforo y los accesos para muestreo que permitan verificar los volúmenes de descarga y las concentraciones de los parámetros previstos en los permisos de descarga.

V. Informar a "La Comisión" de cualquier cambio en sus procesos, cuando con ello se ocasionen modificaciones en las características o en los volúmenes de las aguas residuales que hubieran servido para expedir el permiso de descarga correspondiente.

VI. Hacer del conocimiento de "La Comisión", los contaminantes presentes en las aguas residuales que generen por causa del proceso industrial o del servicio que vienen operando, y que no estuvieran considerados originalmente en las condiciones particulares de descarga que se les hubieran fijado.

VII. Operar y mantener por sí o por terceros las obras e instalaciones necesarias para el manejo y, en su caso, el tratamiento de las aguas residuales, así como para asegurar el control de la calidad de dichas aguas antes de su descarga a cuerpos receptores.

VIII. Sujetarse a la vigilancia y fiscalización que para el control y prevención de la calidad del agua establezca "La Comisión", de conformidad con lo dispuesto en la "Ley" y el "Reglamento".

IX. Llevar un monitoreo de la calidad de las aguas residuales que descarguen o infiltren en los términos de ley y demás disposiciones reglamentarias.

X. Conservar al menos durante tres años el registro de la información sobre el monitoreo que realicen, en los términos de las disposiciones jurídicas, normas, condiciones y especificaciones técnicas aplicables.

XI. Las demás que señalen las leyes y disposiciones reglamentarias.

Las descargas de aguas residuales de uso doméstico que no formen parte de un sistema municipal de alcantarillado, se podrán llevar a cabo con sujeción a las normas oficiales mexicanas que al efecto se expidan y mediante un simple aviso.

**ARTÍCULO 136º.** En los permisos de descargas de las aguas residuales de los sistemas públicos de alcantarillado y drenaje, además de lo dispuesto en el artículo anterior, se deberá señalar la forma conforme a lo dispuesto en la ley para efectuar:

I. El registro, monitoreo continuo y control de las descargas de aguas residuales que se viertan a las redes públicas de alcantarillado.

II. La verificación del estado de conservación de las redes públicas de alcantarillado con el fin de detectar y corregir, en su caso, las posibles fugas que incidan en la calidad de las aguas subterráneas subyacentes y en la eventual contaminación de las fuentes de abastecimiento de agua.

III. El monitoreo de la calidad del agua que se vierte a las redes públicas de alcantarillado, con objeto de detectar la existencia de materiales o residuos peligrosos que por su corrosividad, toxicidad, explosividad, reactividad o inflamabilidad puedan representar grave riesgo al ambiente, a las personas o sus bienes.

Las personas que descarguen aguas residuales a las redes de drenaje o alcantarillado, deberán cumplir con las normas oficiales mexicanas expedidas para el pretratamiento y, en su caso, con las condiciones particulares de descarga que emita el Municipio o que se emitan conforme al artículo 119º, fracción I, inciso f de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

**ARTÍCULO 137º.** Es responsabilidad de los usuarios del agua y de todos los concesionarios a que se refiere el Capítulo II, del Título Sexto de la "Ley", incluidas las

unidades y los distritos de riego, cumplir con las normas oficiales mexicanas y en su caso con las demás condiciones particulares de descarga, para la prevención y control de la contaminación extendida o dispersa que resulte del manejo y aplicación de sustancias que puedan contaminar la calidad de las aguas nacionales y los cuerpos receptores.

"La Comisión" promoverá y realizará, en su caso, las acciones y medidas necesarias, y se coordinará con las autoridades competentes para la expedición de las normas oficiales mexicanas que se requieran para hacer compatible el uso del suelo con los objetivos de prevención y control de la contaminación de las aguas y bienes nacionales. En la fijación de normas oficiales mexicanas para el uso del suelo, que puedan afectar aguas nacionales, se deberá recabar la opinión técnica de "La Comisión".

**ARTÍCULO 138°.** Las solicitudes de permiso de descarga de aguas residuales que se presenten a "La Comisión", deberán contener:

- I. Nombre, domicilio y giro o actividad de la persona física o moral que realice la descarga.
- II. Relación de insumos utilizados en los procesos que generan las descargas de aguas residuales y de otros insumos que generen desechos que se descarguen en los cuerpos receptores.
- III. Croquis y descripción de los procesos que dan lugar a las descargas de aguas residuales.
- IV. Volumen y régimen de los distintos puntos de descarga, así como la caracterización físicoquímica y bacteriológica de la descarga.
- V. Nombre y ubicación del cuerpo o cuerpos receptores.
- VI. Croquis de localización de la descarga o descargas, así como en su caso de las estructuras e instalaciones para su manejo y control.

VII. Descripción, en su caso, de los sistemas y procesos para el tratamiento de aguas residuales para satisfacer las condiciones particulares de descarga que establezca "La Comisión", conforme a lo dispuesto en la "Ley" y el "Reglamento".

La solicitud deberá acompañarse de la memoria técnica que fundamente la información a que se refiere el presente artículo y, en especial, a la forma en que el solicitante cumplirá con las normas, condiciones y especificaciones técnicas establecidas.

---

## **CAPÍTULO 4. CONTAMINANTES Y PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AGUA.**

### **4.1 DEFINICIÓN DE CONTAMINANTE<sup>34</sup>.**

Los contaminantes son aquellos compuestos que, en determinadas concentraciones, pueden producir efectos negativos en la salud humana y en el medio ambiente, dañar la infraestructura hidráulica o inhibir los procesos de tratamiento de las aguas residuales.

### **4.2. CONCEPTO DE CALIDAD DEL AGUA.**

El concepto de calidad del agua, se refiere al conjunto de características físicas, químicas y biológicas, clasificadas según su uso y en relación con características definidas de un estándar.

Si la calidad de un agua se toma como referencia, por ejemplo el agua potable, se podrá establecer una clasificación de la aptitud de cualquier muestra para dicho uso, ya que existen metodologías para “índices de calidad del agua”, comparando el valor de los parámetros físicos, químicos y biológicos de una muestra con los correspondientes a la caracterización base.

### **4.3. CONTAMINACIÓN DE UN CUERPO DE AGUA.**

El agua se considera contaminada cuando su composición es directamente o indirectamente modificada por la actividad del hombre, esto se debe al crecimiento de la población, actividades ganaderas y artesanales, al desarrollo industrial y al cultivo intensivo de la tierra; estas son las causas principales de contaminación del agua.

---

<sup>34</sup> Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Publicada en el diario Oficial de la Federación de fecha de 21 de Septiembre de 1998

#### 4.3.1. Tipos de contaminantes<sup>35</sup>.

Según su origen la contaminación se considera de dos tipos, natural y antropogénica:

- a) Contaminación natural: Es la contaminación producida por causas naturales o geoquímicas y que generalmente no está influenciada por el hombre.
- b) Contaminación antropogénica: Es la contaminación provocada por las actividades del hombre.

Entre los efectos nocivos para organismos, poblaciones y ecosistemas destacan los siguientes:

- ✓ Perjuicios a la salud humana (intoxicaciones, enfermedades infecciosas, crónicas, muerte).
- ✓ Daños a la flora y fauna (eutroficación, enfermedad y muerte).
- ✓ Alteraciones de ecosistemas (erosión, eutroficación y acumulación de compuestos dañinos persistentes).
- ✓ Molestias estéticas (malos olores, sabores y apariencia desagradable).

Las fuentes de contaminación del agua naturales son: el mercurio que se encuentra naturalmente en la corteza de la Tierra y en los océanos contamina la biosfera mucho más que el procedente de la actividad humana. Algo similar pasa con los hidrocarburos y con muchos otros productos. Normalmente las fuentes de contaminación natural son muy dispersas y no provocan concentraciones altas de contaminación, excepto en algunos lugares muy concretos.

---

<sup>35</sup> Valdez, Enrique César. Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. Facultad de Ingeniería, UNAM, 2001. Primera edición. Pp.1.1

La contaminación de origen humano, en cambio, se concentra en zonas concretas (zonas urbanas, industriales y agrícolas) y, la mayoría es mucho más peligrosa que la natural.

Los principales contaminantes del agua son:<sup>36</sup>

*Contaminantes físicos.* Afectan el aspecto del agua, cuando flotan o 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, por ejemplo, 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 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. 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. Sin embargo, se diferencian de los inorgánicos por provenir de desechos humanos y animales, de procesamiento de alimentos, de rastros o mataderos, productos químicos industriales de origen natural como aceites, grasas y tinturas, y productos químicos sintéticos como pinturas, herbicidas, insecticidas, etc. Los contaminantes orgánicos consumen el oxígeno disuelto en el agua y afectan a la vida acuática (eutroficación).

<sup>36</sup> Fair-Gordon-Okun. "Abastecimiento de aguas y remoción de aguas residuales". Volumen I. Ed Limusa, pp. 123.

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.

*Otros contaminantes* como los metales pesados (plomo, cadmio, mercurio), ciertos plaguicidas, los cianuros, los hidrocarburos, el arsénico y el fenol provocan prácticamente la destrucción de los ecosistemas acuáticos y también serios daños a las personas que consuman agua o sus productos contaminados por esta clase de productos químicos.

#### ***4.3.2. Efectos de contaminantes en el agua<sup>37</sup>.***

Los contaminantes del agua, ya sean introducidos por vía doméstica, industrial o agrícola, pueden producir, en general, numerosos tipos de efectos que habrán de estudiarse en función del uso que se quiera dar al agua, o bien, dentro de la perspectiva de tener unas aguas de mejor calidad. Hay que destacar, además de los efectos que el agua contaminada puede producir por su consumo directo, aquellos que se originan indirectamente, como es el caso de la producción de alimentos con agua contaminada o la transmisión de enfermedades.

- *Efectos Provocados por los Sólidos en Suspensión.* Los sólidos en suspensión absorben la radiación solar, de modo que disminuyen la actividad fotosintética de la vegetación acuática. Al mismo tiempo obstruyen los cauces, embalses y lagos.

---

<sup>37</sup> Ibid. Pp 158



También intervienen en los procesos de producción industrial y pueden corroer los materiales y encarecer el costo de depuración del agua.

- *Efectos Provocados por los Fenoles.* Los peces, especialmente las especies grasas como la trucha, el salmón y las anguilas, los acumulan.

Pero el mayor problema reside en que cuando llegan a las plantas de cloración convencionales dan lugar a los clorofenoles, confiriendo al agua un sabor muy desagradable incluso en unidades de partes por billón (ppb).

- *Efectos provocados por las grasas y aceite.* El hecho de que sean menos densos que el agua e inmiscibles con ella, hace que se difundan por la superficie, de modo que pequeñas cantidades de grasas y aceites pueden cubrir grandes superficies de agua. Además de producir un impacto estético, reducen la reoxigenación a través de la interfase aire-agua, disminuyendo el oxígeno disuelto y absorbiendo la radiación solar, afectando a la actividad fotosintética y, en consecuencia, la producción interna de oxígeno disuelto. Encarecen los tratamientos de depuración, y algunos aceites, especialmente los minerales, suelen ser tóxicos.
- *Efectos provocados por los detergentes.* El problema del medio ambiente no es sólo por la bioconcentración, sino también, por el acceso de oxígeno a la masa de agua, a causa de la espuma en su superficie.
- *Efectos provocados por los hidrocarburos.* Los más destacables por su peligrosidad son los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH's) (núcleos aromáticos condensados), no sólo presentes en pequeñísima cantidad en el petróleo sino también en los bosques de abetos. Son cancerígenos y en particular en el benzopireno se ha observado un corto período de latencia.

*Efectos de la contaminación del petróleo.* Estos pueden considerarse a corto y a largo plazo. Los *efectos a corto plazo* se engloban en dos categorías: Los causados por revestimiento y asfixia.

- Entre los efectos se encuentran la reducción de la transmisión de luz, disminución del oxígeno disuelto. Entre los efectos debidos al carácter tóxico del petróleo pueden subrayarse los siguientes: *Narcosis*: los hidrocarburos saturados con bajos puntos de ebullición producen, en baja concentración, narcosis en los invertebrados marinos, y en mayores concentraciones su muerte. *Letalidad*: los hidrocarburos aromáticos de bajo punto de ebullición (xileno, tolueno, benceno) son venenosos para todos los seres vivos, pudiendo provocar la muerte por contacto directo con la mancha de petróleo. Entre los *efectos a largo plazo* podemos destacar: Acumulación y amplificación en la cadena trófica; una vez que un hidrocarburo penetra en la cadena trófica permanecerá totalmente inalterable independientemente de su estructura, lo que conduce a su acumulación y ulterior concentración hasta alcanzar cantidades tóxicas. Vehiculación de ciertos compuestos; por ejemplo, los plaguicidas disueltos en la película de petróleo pueden alcanzar concentraciones más elevadas de las que normalmente alcanzarían en agua contaminada. Llegando así más fácilmente hasta los organismos susceptibles de contaminarse.
- *Efectos provocados por la materia orgánica.* Sus efectos son diferentes según se trate de materia orgánica biodegradable o no biodegradable. La primera provoca una disminución del oxígeno disuelto por consumo de éste en los procesos de degradación, reduciendo la capacidad de auto depuración de un río. Cuando se ha consumido todo el oxígeno disuelto, la degradación es anaeróbica, desapareciendo la vida animal y apareciendo compuestos típicos de la putrefacción, generalmente

mal olor. La segunda puede presentar efectos diferentes como son la acumulación en los tejidos animales y la toxicidad.

- *Efectos provocados por la materia inorgánica.* Los efectos debidos a la presencia de materia inorgánica pueden ser de características muy diversas. Pueden ser tóxicos, como los efectos producidos por las sales de los metales pesados; inductivos, como los producidos por la acidez y la alcalinidad, que varían la toxicidad de algunas sustancias. La salinidad, en general, disminuye la concentración de oxígeno disuelto, favorece la formación de espumas y aumenta la presión osmótica. Por otra parte, la presencia de sales inorgánicas en grandes cantidades puede inutilizar procesos industriales y producir incrustaciones. Un problema peligroso es el que presentan los nitratos que entran a formar parte del medio hídrico por vía agrícola. Todavía no está totalmente aclarado el efecto que puede tener sobre la salud humana el consumo de agua con alto contenido de nitratos. El principal efecto patógeno que podría atribuirse a los nitratos es la metahemoglobinemia, originada por la reacción de los nitritos con la hemoglobina de la sangre, con formación de hierro ferroso y generación de metahemoglobina. Esta enfermedad se caracteriza por una dificultad respiratoria que en ocasiones acaba en asfixia. Los metales pesados son tóxicos por ser bioacumulativos. Cuando se arranca desde los niveles tróficos más bajos y alcanza a los superiores o el hombre, el metal ha podido concentrarse incluso varios miles de veces. El mejor ejemplo, en relación con la actividad biológica, es el trágico episodio ocurrido en la ciudad de Minimata (Japón) en 1960. En efecto, en la bahía del mismo nombre eran vertidas aguas residuales que contenían compuestos orgánicos e inorgánicos de mercurio. Los microorganismos presentes en el agua transformaban estos

compuestos de mercurio en metilmercurio, compuesto extraordinariamente tóxico que es fácilmente asimilado y concentrado por la cadena alimentaria hasta llegar a la población humana a través de los peces.

- *Efectos provocados por los compuestos orgánicos sintéticos.* En las últimas décadas se ha producido una intensa proliferación de compuestos orgánicos de síntesis. Entre ellos, los PCB's y los pesticidas son los que mayor preocupación ambiental han suscitado. Esto se debe a que son compuestos relativamente estables, difíciles o lentamente degradables, capaces de bioacumularse y de amplificarse a lo largo de las cadenas tróficas de los ecosistemas, y con efectos tóxicos para distintos niveles de organismos, manifestando su toxicidad de forma aguda y, sobre todo, crónica: alteraciones en la conducta, en el desarrollo embrionario, en la viabilidad de los individuos.
- *Efectos provocados por los organismos patógenos.* Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), los efectos que los diferentes tipos de organismos pueden producir sobre el hombre son los siguientes:

*Virus:* infecciones víricas, inflamaciones cutáneas y oculares.

*Bacterias:* infecciones gastrointestinales, endémicas o epidémicas, como cólera, fiebres tifoideas, salmonelosis, etc.

*Protozoos y metazoos:* enfermedades parasitarias como la hidatidosis, esquistosomiasis, etc.

En el siguiente cuadro se enumeran ejemplos de algunos microorganismos patógenos comúnmente transportados en el agua, así como las enfermedades que pueden causar.

MICROORGANISMOS		ENFERMEDADES
Bacterias	<i>Francisella tularensis</i> <i>Leptospira</i> <i>Salmonella paratyphi</i> (A, B, C) <i>Salmonella typhi</i> <i>Shigella</i> ( <i>S. flexneri</i> , <i>S. sonnei</i> , <i>S. boydii</i> , <i>S. dysenteriae</i> ) <i>Vibrio cholerae</i>	Tularemia Leptospirosis Paratifoidea (fiebre entérica) Fiebre tifoidea, fiebre entérica Shigelosis (disentería bacilar)  Cólera
Virus	<i>Poliomielitis</i> (3 tipos) Virus desconocidos	Poliomielitis aguda, parálisis infantil Hepatitis infecciosa
Protozoarios	<i>Entamoeba histolytica</i>  <i>Giardia lamblia</i>	Amebiasis (disentería amibiana, enteritis amibiana, colitis amibiana) Giardiasis (enteritis giardia, lambliasis)
Helmintos (gusanos parásitos)	<i>Dracunculus medinensis</i> <i>Echinococcus</i> <i>Shistosoma</i> ( <i>S. mansoni</i> , <i>S. japonicum</i> , <i>S. haematobium</i> )	Dracontiasis Equinocosis Squistosomiasis (enfermedad de "hill Harris")

CUADRO 6. Patógenos comunes transportados por el agua<sup>38</sup>.

#### 4.3.3. Principales focos de contaminación.

Existen cuatro focos principales de contaminación antropogénica:

- 1.- Industria. Según el tipo de industria se producen distintos tipos de residuos. Normalmente en los países desarrollados muchas industrias poseen eficaces sistemas de depuración de las aguas, sobre todo las que producen contaminantes más peligrosos, como metales tóxicos. En algunos países en vías de desarrollo la contaminación del agua por residuos industriales es muy importante. En el cuadro 6 se mencionan el sector industrial y sus principales contaminantes.
- 2.- Vertidos urbanos. La actividad doméstica produce principalmente residuos orgánicos, pero el alcantarillado arrastra además todo tipo de sustancias: emisiones de los automóviles (hidrocarburos, plomo, otros metales, etc.), sales, ácidos, etc.

SECTOR INDUSTRIAL	PRINCIPALES SUSTANCIAS CONTAMINANTES
Construcción.	Sólidos en suspensión, metales, pH.
Minería	Sólidos en suspensión, metales pesados, materia orgánica, pH, cianuros.
Energía	Calor, hidrocarburos y productos químicos.
Textil y piel	Cromo, taninos, tensoactivos, sulfuros, colorantes, grasas, disolventes orgánicos, ácidos acético y fórmico, sólidos en suspensión.
Automoción	Aceites lubricantes, pinturas y aguas residuales.
Navales	Petróleo, productos químicos, disolventes y pigmentos.
Siderurgia	Cascarillas, aceites, metales disueltos, emulsiones, sosas y ácidos.
Química inorgánica	Hg, P, fluoruros, cianuros, amoníaco, nitritos, ácido sulfhídrico, F, Mn, Mo, Pb, Ag, Se, Zn, etc. y los compuestos de todos ellos.
Química orgánica	Organohalogenados, organosilícicos, compuestos cancerígenos y otros que afectan al balance de oxígeno.
Fertilizantes	Nitratos y fosfatos.
Pasta y papel	Sólidos en suspensión y otros que afectan al balance de oxígeno.
Plaguicidas	Organohalogenados, organofosforados, compuestos cancerígenos, biocidas, etc.
Fibras químicas	Aceites minerales y otros que afectan al balance de oxígeno.
Pinturas, barnices y tintas	Compuestos organoestámicos, compuestos de Zn, Cr, Se, Mo, Ti, Sn, Ba, Co, etc.

CUADRO 7. Sector industrial y tipos de contaminantes<sup>39</sup>.

3.- Navegación. Produce diferentes tipos de contaminación, especialmente con hidrocarburos. A lo largo de la década de los ochenta se tomaron diversas medidas para disminuir la contaminación de los mares y la Academia de las Ciencias de EUA estimaba que se habían reducido en un 60% los vertidos durante estos años. Se puede calcular que en 1999 se vertieron al océano algo más de 2.000.000 de toneladas. De esta cifra el mayor porcentaje corresponde a las aguas residuales urbanas y a las descargas industriales (en total más del 35%). Otro tercio correspondería a vertidos procedentes de buques (más por operaciones de limpieza y similares, aunque su valor va disminuyendo en los últimos años, que por accidentes) y el resto a filtraciones naturales e hidrocarburos que llegan a través de la atmósfera.

<sup>38</sup> Valdez, Cesar Enrique. Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. México, 2002. Pp 22.

<sup>39</sup> Tebbutt, T. Fundamentos en el control del agua. Ed. Limusa. México, 1998. Pag 34.

4.- Agricultura y ganadería. Los trabajos agrícolas producen vertidos de pesticidas, fertilizantes y restos orgánicos de animales y plantas que contaminan de una forma difusa pero muy notable las aguas.

#### 4.4.. PARÁMETROS DE LA CALIDAD DEL AGUA<sup>40</sup>.

##### 4.4.1. *Parámetros físicos.*

- ✓ Sólidos. Este parámetro nos indica cuales serán las operaciones físicas requeridas para el tratamiento, tomando en consideración el tamaño de la partícula.
- ✓ Sólidos totales. Es el material que arrastran las aguas residuales desde el punto de vista analítico; los sólidos totales se definen como el residuo que permanece después de haber evaporado el agua entre 103 y 105 °C.
- ✓ Sólidos sedimentables. Son sólidos en suspensión que pueden sedimentar en condiciones de reposo debido a la influencia de la gravedad.
- ✓ Sólidos suspendidos no sedimentables. Son componentes de los totales, cuyo tamaño es menor a 10 micras ( $10^{-2}$  mm).
- ✓ Sólidos disueltos o filtrables. Son componentes de los totales, comprenden partículas del tamaño de iones y moléculas que pasan por un filtro menor de  $10^6$  mm.
- ✓ Sólidos fijos y volátiles. En función a su volatilidad (600 °C) la fracción orgánica se oxida convirtiéndose en gas (sólidos volátiles) y la inorgánica permanece como ceniza.

<sup>40</sup> López, R.R. "Aguas residuales municipales y biosólidos". Facultad de Ingeniería, UNAM. Pp. 16

- ✓ Temperatura. Es una medida de la cantidad de calor en el agua residual, usualmente la temperatura de las aguas residuales es mayor que la del agua potable, afecta a la velocidad de reacción bioquímica y al transferencia de gases.
- ✓ Color. El color de las aguas domésticas es generalmente una indicación de su edad; el agua residual doméstica presenta un color gris cuando se acaba de generar, pero posteriormente se vuelve de color negro debido a la actividad de los organismos anaerobios que descomponen la materia orgánica y producen ácido sulfhídrico y metano.
- ✓ Olor. Los olores en el agua residual son causados por los gases de la descomposición orgánica.

#### **4.4.2. Parámetros químicos<sup>41</sup>.**

##### **4.4.2.1. Químicos orgánicos.**

La presencia de materia orgánica biodegradable en los cuerpos receptores reduce la cantidad de oxígeno. Los grupos principales de sustancias orgánicas que se encuentran en las aguas residuales domésticas son las proteínas, carbohidratos, grasas y aceites (ver esquema 1)

##### **4.4.2.2. Parámetros indirectos para determinar la materia orgánica.**

- ✓ Demanda química de oxígeno (DQO). La demanda química de oxígeno es la cantidad de oxígeno consumido por las materias existentes en el agua, oxidables en unas condiciones determinadas. Esta medida es una estimación de las materias oxidables presentes en el agua, cualquiera que sea su origen orgánico.

---

<sup>41</sup> Valdez, C.E, Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. Facultad de Ingeniería, UNAM. Pp. 15



Las aguas no contaminadas tienen valores de DQO de 1 a 5 ppm, o algo superiores. Las aguas residuales domésticas suelen contener entre 250 y 600 ppm, y en las residuales industriales la concentración depende del proceso de fabricación.

- ✓ Demanda bioquímica de oxígeno (DBO). La demanda bioquímica de oxígeno es una prueba que mide la cantidad de oxígeno consumido en la degradación bioquímica de la materia orgánica mediante procesos biológicos aerobios. Existen diversas variantes de la determinación de la demanda bioquímica de Oxígeno, entre ellas las que se refieren al período de incubación. La más frecuente es la determinación de DBO a los cinco días (DBO<sub>5</sub>). Las aguas subterráneas suelen contener menos de 1 ppm; contenidos superiores son indicativos de contaminación. En las aguas residuales domésticas se sitúa entre 100 y 350 ppm, y en las industriales depende del proceso de fabricación, pudiendo alcanzar varios miles de ppm.
- ✓ Carbono orgánico total (COT). Este parámetro, como su propio nombre indica, es la medida del contenido total en carbono de los compuestos orgánicos presentes en las aguas. Se refiere tanto a compuestos orgánicos fijos como volátiles, naturales o sintéticos.

#### **4.4.2.3. Parámetros indirectos para determinar la materia inorgánica<sup>42</sup>.**

- ✓ Alcalinidad. Es la medida del contenido de iones hidróxido, bicarbonatos y carbonatos.
- ✓ Nitrógeno amoniacal. Es un nutriente biológico que interviene en el metabolismo bacteriano.
- ✓ Nitratos. Nutriente biológico.

- ✓ Fosfatos. Nutriente biológico.
- ✓ Metales pesados. Indican contaminación industrial. Afectan el metabolismo microbiano por ser tóxicos.
- ✓ Oxígeno disuelto. El origen del oxígeno disuelto en el agua es debido a las turbulencias de este medio en la interfase aire-agua, y a la producción fotosintética. La solubilidad del oxígeno en el agua se debe a varios factores, en particular a la temperatura, a la presión atmosférica y a la salinidad. Cuando la temperatura se eleva, el contenido de oxígeno disminuye en razón de su pequeña solubilidad.

#### 4.4.3. Parámetros biológicos<sup>43</sup>.

##### 4.4.3.1. Principales grupos de microorganismos.

- ✓ Virus. Partículas submicroscópicas que varían en tamaño de 0.02 $\mu\text{m}$  a 0.3 $\mu\text{m}$  compuesta de un núcleo de ácido nucleico y una cubierta de proteína, y que contiene todo el material hereditario para la reproducción; todos son parásitos ya que dependen de un hospedaje para obtener la proteína y la energía necesaria para reproducirse.
- ✓ Bacterias. Organismos manera; de tamaño de 0.1 10  $\mu\text{m}$ , se reproducen de manera característica por fisión (división), obtienen nutrientes por absorción, muchas son patógenas.
- ✓ Hongos. Organismos unicelulares (levaduras) o multicelulares (mohos), varían de tamaño de algunas micras a varios centímetros, se reproducen asexualmente

<sup>42</sup> Ibid. Pp. 18

<sup>43</sup> Fair-Gordon-Okun. "Abastecimiento de aguas y remoción de aguas residuales". Volumen I. Ed Limusa, pp. 278

(gemación, espora) o sexualmente (esporas), crecen de clorofila y se alimentan por absorción.

- ✓ Algas. Plantas protistas y no vasculares, obtienen su alimento por fotosíntesis, se reproducen asexualmente y/o sexualmente.
- ✓ Protozoarios. Tienen un tamaño de 10 a 300 $\mu$ m, se reproducen asexualmente por (fisión) y gemación o sexualmente, a los protozoarios carecen de clorofila, son móviles e ingieren materia partícula muerta o células vivas. Estos organismos son importantes en los procesos de descomposición en el tratamiento de aguas residuales ya que solubilizan la materia orgánica particulada para crear los sustratos disueltos que requieren las bacterias y los hongos.

#### **4.4.3.2. Indicadores de los organismos patógenos<sup>44</sup>.**

Los indicadores más utilizados son dos grupos de bacterias: 1er Grupo, coliforme fecal y 2do grupo, de estreptococos fecales:

*Coliformes*. Incluye las bacterias aerobias y anaerobias facultativas, gram negativas, en forma de bacilo corto que fermentan la lactosa con producción de gas. Este grupo se subdivide en dos categorías fecal y no fecal su suma son los coniformes totales. Esta subdivisión se basa en la suposición de que *Escherichia coli* y otras cepas estrechamente relacionadas son de origen fecal, mientras que *Enterobacter aerogenes* y sus relativos más cercanos no son de origen fecal directo.

*Streptococos fecales*. Su presencia indica una contaminación peligrosa y demuestra que ha ocurrido recientemente, ya que en aguas no contaminadas nunca se encuentra.

<sup>44</sup> Hernández Muñoz Aurelio. "Depuración de Aguas Residuales". Ed Colección SEINOR, 1998. pp. 110

#### 4.4.4. Principales parámetros de calidad del agua.

En el cuadro 8 se representan los principales parámetros de calidad del agua.

PARÁMETROS	UNIDAD	DESCRIPCIÓN
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	Cantidad de Oxígeno requerida por las bacterias para descomponerse la materia orgánica.
Demanda Química de Oxígeno. (DQO)	mg/L	Cantidad de Oxígeno requerida para la oxidación de toda la materia oxidable, incluyendo materia orgánica e inorgánica.
Oxígeno Disuelto.	mg/L	Oxígeno molecular disuelto en el agua, indispensable para la supervivencia de los organismos aerobios.
Coliformes Fecales y Totales	NPM/100mL	Grupos de bacterias que tienen su desarrollo en el conducto intestinal de los humanos, su presencia indica contaminación fecal y posiblemente por bacterias patógenas.
Sustancias Activas de Azul de Metileno. (SAAM)	mg/L	(Detergentes) Sustancias solubles que abaten la tensión superficial. Pueden ser inhibitoras de los procesos biológicos.
Nitrógeno de Nitratos y Nitritos.	mg/L	Representa una etapa intermedia de oxidación; el nitrógeno de nitritos es el punto final de la oxidación del nitrógeno.
Nitrógeno Amoniacal.	mg/L	Junto con el nitrógeno orgánico integra el nitrógeno total, es un nutriente bioestimulante que beneficia el proceso biológico.
Fosfatos Totales.	mg/L	Fósforo nutriente que puede estimular el crecimiento de algas, proviene de la excreción humana y de los detergentes.
Grasas y Aceites.	mg/L	Incluye grasas de origen vegetal, animal y derivados del petróleo, puede causar formación de natas e inhibición de desarrollo de poblaciones bacterianas.
Conductividad	μS/L	Se relaciona con la concentración de sólidos disueltos y es proporcional a la turbidez y color.
Alcalinidad	mg/L	Acidez y alcalinidad miden la capacidad de la muestra para reaccionar con iones oxhidrilos y de los iones hidrogeno. Ayuda a amortiguar los cambios en el pH y pueden ser perjudiciales a los procesos biológicos.
Dureza Total	mg/L	Propiedad debida a los iones metálicos de calcio y magnesio principalmente, además al fierro y estroncio, evita que el jabón haga espuma.
Potencial Hidrogeno (pH)	Unidades	Logaritmo común negativo de la actividad del ión hidrogeno, una medida de equilibrio ácido base de compuestos disueltos.
Color	Unidades	El color aparente indica la presencia de sustancias disueltas y suspendidas en el agua.
Sólidos Sedimentables	mL/L	Los sólidos presentes en el agua se dividen en sedimentables, disueltos y suspendidos.

CUADRO 8. Principales parámetros de calidad del agua<sup>45</sup>.

<sup>45</sup> Valdez, Enrique Cesar. Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento y dispersión de las Aguas Residuales. Universidad Nacional Autónoma de México. Pp.25

## **CAPÍTULO 5. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.**

### **5.1. OBJETIVOS DEL TRATAMIENTO, SELECCIÓN DE OPERACIONES Y PROCESOS DE LAS AGUAS RESIDUALES.**

Anteriormente se mencionó que el agua a tratar varía en cantidad y calidad; esto se debe de tomar en cuenta en el diseño; además, los procesos y las operaciones unitarias deben tener la capacidad de manejar estas variaciones. A esta capacidad se le llama “equilibrio” y se define como la tolerancia inherente que tiene el proceso de tratamiento de aguas residuales para manejar la variación de las cargas de contaminantes que recibe la planta.

Los principales objetivos del tratamiento de las aguas son:

- a) Remoción de sólidos suspendidos y flotantes.
- b) Tratamiento de material orgánico biodegradable.
- c) Eliminación de organismos patógenos.

Ya establecidos los objetivos del tratamiento el grado de este puede determinarse comparando las características de las aguas residuales crudas con los requisitos del efluente. En una planta de tratamiento las combinaciones de operaciones unitarias y procesos unitarios trabajan como un sistema o tren. La mayor parte de la selección del sistema o tren, es la propuesta y evaluación de varias combinaciones de operaciones unitarias y procesos unitarios así como sus interacciones. Como parte de las selecciones se puede incluir y tomar en consideración la igualación del gasto y la reducción de cargas como unidades de tratamiento. La evaluación debe hacerse en todas las unidades, además deben tomarse en cuenta y analizarse las alternativas del “tren de lodos”, el análisis del balance de masas que representa un elemento crítico en la evaluación.

Los contaminantes de las aguas se remueven por medios físicos, químicos y biológicos. Los métodos individuales, comúnmente se clasifican como operaciones unitarias físicas y como procesos unitarios químicos y biológicos.

Las operaciones unitarias físicas comprenden<sup>46</sup>:

- ✓ Medición de gasto.
- ✓ Desbastado (cribado).
- ✓ Mezcla.
- ✓ Floculación.
- ✓ Igualación de gastos.
- ✓ Sedimentación.
- ✓ Flotación.
- ✓ Filtración en medio granular.
- ✓ Igualación y homogenización.
- ✓ Transferencia de gases.
- ✓ Desinfección con radiación ultravioleta.

Los procesos unitarios químicos son:

- ✓ Precipitación química.
- ✓ Otras aplicaciones químicas.
- ✓ Adsorción.
- ✓ Desinfección con cloro y ozono.

Los procesos unitarios biológicos emplean actividad biológica para la remoción de contaminantes orgánicos biodegradables.

---

<sup>46</sup> Fair-Gordon-Okun. "Abastecimiento de aguas y remoción de aguas residuales". Volumen II. Ed Limusa, pp. 323.

Para ejemplificar el uso de las operaciones y procesos unitarios antes mencionados, en el cuadro 9 se presenta su utilidad sobre los diversos tipos de contaminantes.

CONTAMINANTES	OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS
Sólidos suspendidos y flotantes	Sedimentación Cribado y desmenuzado Flotación Filtración Mezcla Floculación
Orgánicos biodegradables	Lodos activados Filtros rociadores Discos biológicos Lagunas de estabilización Lagunas aireadas Tanques sépticos Filtros anaerobios Tratamiento en medios naturales
Organismos patógenos	Coloración, hipocloración Radiación UV, ozonización

CUADRO 9. Operaciones y procesos unitarios utilizados para remover contaminantes<sup>47</sup>.

## 5.2. TRATAMIENTO PRELIMINAR<sup>48</sup>.

### 5.2.1. Cribado o desbaste.

La primera operación unitaria en las plantas de tratamiento de aguas residuales es el cribado o desbaste. Su propósito es remover sólidos gruesos como papel, trapos, madera, plásticos y otros. debido a que si no se eliminan pueden dañar el equipo de bombeo.

<sup>47</sup> Valdez Enrique César. Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. Facultad de Ingeniería, UNAM, 2001. Primera edición. Pp 2.1

<sup>48</sup> Metcalf y Eddi Inc. Wastewater Engineering: Treatment, disposal reuse. Ed. Mc. Graw-Hill Book Company. Pp. 75

### **5.2.1.1. Tipos de dispositivos para cribados de aguas residuales.**

A continuación se mencionan los distintos tipos que existen de dispositivos para cribados de aguas residuales.

- Rejas para basura: protege las bombas y equipo de los objetos grandes (trapos, troncos, botes, etc.)
- Rejillas: Parecida a las rejas con aberturas más pequeñas para separar materiales pequeños.
- Tamices: Protegen las boquillas de los filtros percoladores.
- Desmenuzadores: Reducen el tamaño de los materiales mediante trituración o corte, sin removerlos de las aguas residuales.
- Cribas finas: puede sustituir al sedimentador primario.

### **5.2.2. Clasificación de cribas.**

Cribas gruesas: representan generalmente el primer paso en el tratamiento de aguas residuales y consisten en rejillas, tamices y trituradores; las cribas finas: se utilizan como una etapa de pretratamiento, para mejorar los efluentes del tratamiento secundario estas pueden ser fijas o móviles.

### **5.2.3. Desarenadores.**

Los desarenadores se emplean para separar materiales mas pesados que la materia orgánica putrescible (arena, grava, cenizas y otros). Evitan que estos materiales se acumulen en los tanques y conducciones evitando así las obstrucciones y taponamientos, también evitan la sobrecarga en las fases siguientes del tratamiento. El desarenador se instala después de las rejas para evitar que las partículas grandes interfieran en el proceso aguas abajo.



### 5.2.3.1. Tipos de desarenadores<sup>49</sup>.

Para la separación de sólidos se utiliza la fuerza de la gravedad (sedimentación) y la fuerza centrífuga (ciclones); para el tratamiento de aguas residuales en México, se utilizan generalmente separadores por gravedad. A continuación se presentan cuatro tipos de desarenadores:

- De flujo horizontal o velocidad controlada: corresponden a la sedimentación tipo I, en ellos el caudal pasa a través del tanque en dirección horizontal y la velocidad de flujo es controlada por las mismas dimensiones de la unidad o mediante el uso de vertedores de sección especial al final del tanque.
- Desarenadores arenados: consisten en tanques sujetos a una aireación del tipo flujo en espiral donde la velocidad es controlada mediante sus dimensiones así como por la cantidad de aire suministrada a esta unidad.
- Tanques de sección cuadrada o tanques de detritus: son simplemente tanques de sedimentación en los cuales la arena y los sólidos orgánicos sedimentan en forma conjunta; los sólidos orgánicos se separan posteriormente por medios mecánicos.
- Tipo vórtice: en estos desarenadores el agua entra y sale tangencialmente y las arenas sedimentan por gravedad debido a la inercia y a su densidad mayor que la del agua.

<sup>49</sup> Fair-Gordon-Okun. "Abastecimiento de aguas y remoción de aguas residuales". Volumen II. Ed Limusa, pp. 333.

### 5.3. TRATAMIENTO PRIMARIO.

#### 5.3.1. Flotación<sup>50</sup>.

##### 5.3.1.1. Separadores de grasas y aceites.

Para la industria petrolera, la tecnología convencional de los sistemas de flotación para la separación de aceites y sólidos en suspensión fue desarrollada originalmente por la industria del petróleo. Para tratar las aguas residuales de la industria del petróleo se han empleado tres tipos de separadores: API, PPI y CPI.

La función principal de los separadores API (American Petroleum Institute) es separar el aceite libre del agua residual, pero como no es capaz de separar sustancias solubles ni de romper emulsiones, nunca debe emplearse en dichas funciones.

En los separadores PPI (Parallel Plate Interceptor) las mejoras corresponden a la incorporación de placas paralelas inclinadas en los canales de un separador API convencional.

Por último, el separador CPI (Corrugated Plate Interceptor) representa un perfeccionamiento del PPI, emplea placas corrugadas con una inclinación de 45° con respecto a la horizontal en la dirección del flujo de agua residual.

##### 5.3.1.2. Separadores por flotación de aire a presión o de aire comprimido.

Los sistemas de flotación con aire permiten separar partículas sólidas o líquidas de baja densidad de la fase líquida. La separación se logra introduciendo burbujas de un gas en la fase líquida (usualmente aire). Los sólidos suspendidos concentrados se separan como natas

---

<sup>50</sup> Fair-Gordon-Okun. . "Abastecimiento de aguas y remoción de aguas residuales". Volumen II. Ed Limusa, pp. 350.

de la superficie del tanque, por medios mecánicos, mientras el licor clarificado se drena del fondo y parte de él se puede recircular.

En el tratamiento de las aguas residuales, la flotación se emplea para los siguientes propósitos:

- Separación de grasas, aceites, fibras y otros sólidos de baja densidad, en las aguas residuales.
- Espesamiento de lodos de los procesos de lodos activados.
- Espesamiento de lodos químicos floculados, que resultan del tratamiento de coagulación química.

#### **5.3.1.3. Tanques desnatadores<sup>51</sup>.**

Un tanque desnatador es una unidad construida de tal manera que el material flotante se remueve, y el agua fluye constantemente hacia fuera de la unidad por debajo de una cortina. Esto se puede lograr en un tanque individual o como combinación del sistema de sedimentación primaria, dependiendo del proceso y naturaleza del agua residual. La salida del agua residual, la cual se encuentra sumergida, se localiza en el lado opuesto del efluente a una elevación menor para mejorar la flotación de las grasas y aceites y/o sustancias flotantes, el uso de tanques con dos compartimentos en serie mejora la eficiencia de remoción de grasas y aceites.

#### **5.3.1.4. Igualación, homogenización y neutralización<sup>52</sup>.**

La igualación no solamente amortigua las variaciones diarias de flujo, sino también, la variación en las concentraciones de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos y pH durante el día. Tomando en cuenta estas consideraciones el

---

<sup>51</sup> López, R.R. "Aguas residuales municipales y biosólidos". Facultad de Ingeniería, UNAM. Pp. 36

funcionamiento de las plantas existentes puede mejorar significativamente y cuando se trate de diseñar un nuevo sistema se reducirá el tamaño de las unidades.

Esta operación se puede utilizar durante la época de sequías, cuando existen sistemas de recolección de aguas residuales separados o bien en época de lluvias (períodos de tormentas) cuando existen sistemas de recolección combinados.

Cuando se utilizan tanques de igualación, estos se instalan después del tratamiento preliminar (cribado y remoción de arenas) y pueden localizarse ya sea en la línea del tratamiento o en paralelo, colocándose fuera de ella.

#### **5.3.1.5. Precloración<sup>52</sup>.**

A pesar de que el principal uso de la cloración en el tratamiento de las aguas residuales es con propósitos de desinfección, también se aplica en los primeros pasos del tratamiento, a esta etapa se le conoce como precloración y se utiliza principalmente para el control de olor, corrosión, septicidad y como ayuda en la remoción de grasa.

- Control de olor: el olor que mas prevalece es el que resulta del sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ) que se produce por la descomposición de los compuestos de azufre.
- Control de corrosión: El cloro puede ser utilizado en forma efectiva para prevenir la formación de sulfuro de hidrógeno al aplicarlo en los cárcamos húmedos, justo antes de las estaciones de bombeo.
- Prevención de septicidad: La eficiencia del tratamiento aerobio se puede afectar adversamente si las aguas residuales llegan sépticas. La precloración se puede usar para prevenir el proceso séptico manteniendo el efluente en condiciones frescas.

---

<sup>52</sup> Ibid, pp 38.

<sup>53</sup> Valdez, C.E, Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. ". Facultad de Ingeniería, UNAM. Pp. 54

---

Generalmente la dosis de cloro utilizada para el control de olores también controlará la septicidad.

- Remoción de grasas: El cloro puede aplicarse como una solución antes del tanque sedimentador primario o antes de los tanques de aireación para remover las sustancias grasosas existentes.

#### 5.3.1.6. Preaireación<sup>54</sup>.

Se ha probado que la aireación de las aguas residuales, previo, al sedimentador primario puede tener un gran número de efectos deseables. Su aplicación se ha limitado un poco a ciertos problemas en el tratamiento de las aguas residuales, su uso inicial para el control de olores, y para prevenir la septicidad se ha extendido, y cuando se utilizan períodos más largos de aireación se obtienen beneficios adicionales. Actualmente la preaireación se utiliza ahora para llevar a cabo uno o más de los siguientes objetivos:

1. Control de olores.
2. Separación de grasas.
3. Prevención de septicidad.
4. Separación de arenas.
5. Floculación de sólidos.
6. Mantener el oxígeno disuelto en los tanques de tratamiento primario en flujo lento.
7. Incrementar la remoción de DBO y SS.
8. Minimizar depósitos de sólidos en los muros y el piso de los cárcamos húmedos.
9. Mantener en condiciones aerobias el tanque de igualación.

---

<sup>54</sup> Ibid. Pp. 77

### 5.3.1.7. Tipos de sedimentación<sup>55</sup>.

La sedimentación ocurre de maneras diferentes según la naturaleza de los sólidos, su concentración y su grado de floculación. En el agua se pueden encontrar partículas llamadas discretas granulares, las cuales no cambian su tamaño, forma o peso cuando se sedimentan; y partículas floculentas grumosas y precipitantes, en las cuales la densidad y el volumen cambia a medida que se adhieren unas a otras mediante mecanismos de floculación, arrastre o barrido. La existencia de diferentes tipos de partículas en distintas concentraciones hace necesario considerar tipos desiguales de sedimentación.

En sedimentadores primarios de aguas residuales, el material orgánico suspendido por remover tiene densidades relativas entre 1.0 y 1.2 g/mL. En tanques de sedimentación secundaria de flóculos biológicos de lodos activados o de filtros precloradores, las partículas suspendidas compuestas de material orgánico y microorganismos, sedimentan rápidamente a pesar de su densidad relativa baja. Lo anterior permite hacer la siguiente clasificación de sedimentaciones<sup>56</sup>:

- TIPO I. Sedimentación libre de partículas discretas, no floculentas, en una suspensión diluida (Desarenadores).

Las partículas sedimentan como unidades separadas (partículas discretas) y aparentemente no hay interacción entre ellas, en general son sólidos en suspensión con una masa relativa más grande y en suspensiones no muy concentradas. Se produce en los desarenadores y parcialmente en los sedimentadores primarios, así como en la precipitación química si no existe tratamiento primario.

<sup>55</sup> Fair-Gordon-Okun. "Abastecimiento de aguas y remoción de aguas residuales". Volumen II. Ed Limusa, pp. 398.

- TIPO II: Sedimentación de partículas floculantes en una suspensión diluida (Sedimentador Primario).

Corresponde a la sedimentación de las partículas floculentas en una suspensión diluida. Las partículas floculan durante la sedimentación, con lo que aumentan de tamaño y sedimentan a una velocidad mayor.

La sedimentación primaria en el tratamiento de las aguas residuales y la sedimentación de aguas residuales coaguladas químicamente, son ejemplos de este tipo de sedimentación.

#### **5.4. TRATAMIENTO SECUNDARIO<sup>57</sup>.**

El tratamiento secundario es el proceso complementario de la depuración de aguas residuales, consiste en una serie de operaciones y procesos (físico-químicos y biológicos) al que son sometidos los efluentes del tratamiento primario, debido a que contienen materia orgánica biodegradable en forma de sólidos suspendidos finos, sedimentables, coloides y solubles, los cuales deben de ser separado para obtener un agua apropiada ya sea para uso o para disposición final en un cuerpo receptor.

El tratamiento secundario agrupa procesos y operaciones unitarias capaces de eliminar los sólidos que aún contienen los efluentes primarios y se clasifican en físico-químicos, y biológicos.

En los procesos físico-químicos se emplean combinaciones de operaciones y procesos unitarios tales como coagulación, microcribado, filtración y oxidación química.

---

<sup>56</sup> Fair-Gordon-Okun. "Abastecimiento de aguas y remoción de aguas residuales". Ed Limusa, pp. 465.

<sup>57</sup> Hernández Muñoz Aurelio. "Depuración de Aguas Residuales". Ed Colección SEINOR, 1998. pp. 220

Actualmente la inversión inicial y los costos operativos de estas opciones son demasiado grandes, por esta razón no se usan comúnmente. En cambio, el sistema biológico se usa prácticamente en todos los sistemas municipales de tratamiento.

En el tratamiento biológico los microorganismos usan los compuestos orgánicos presentes en el agua residual como alimento y los convierten en células biológicas denominada biomasa. Se le llama cultivo mezclado a los diferentes tipos de microorganismos que contienen las sustancias orgánicas que se encuentran en el agua.

Los microorganismos que toman parte en el tratamiento de aguas residuales son esencialmente los mismos que aquellos que degradan el material orgánico en los ecosistemas de agua dulce. Sin embargo, los procesos en el tratamiento de aguas residuales no se llevan a cabo como en la naturaleza si no se controlan mediante reactores para optimizar la rapidez y remoción de compuestos orgánicos.

La remoción que se efectuaría en varios días en sistemas naturales se lleva a cabo en unas cuantas horas en los sistemas de ingeniería. A continuación en el cuadro 10 se muestra un resumen de los sistemas y procesos para el tratamiento secundario.



<b>TRATAMIENTO FISICO-QUIMICO</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Precipitación química.</li> <li>▲ Coagulación química.</li> <li>▲ Floculación.</li> </ul>
<b>TRATAMIENTO BIOLOGICO</b>	<p><u>Sistema aerobio.</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Microorganismos en suspensión.</li> </ul> <p>Lodos activados Lagunas aireadas Zanjas de oxidación</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Microorganismos adheridos a un medio fijo.</li> </ul> <p>Filtros rociadores Biodiscos</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Combinación.</li> </ul> <p>Medio granular fluidizado Torre de madera resistente Lodos activados con medios fijos</p> <p><u>Sistemas anaerobios.</u></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Microorganismos en suspensión</li> </ul> <p>Tratamiento con contacto aerobio Lecho fluidizado</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Microorganismos adheridos a un medio.</li> </ul> <p>Filtro anaerobio. Combinación. Medio granular fluidizado</p>
<b>LAGUNAS DE ESTABILIZACION</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▲ Anaerobia</li> <li>▲ Facultativa</li> <li>▲ Aerobia (maduración)</li> </ul>

**CUADRO 10.** Procesos y sistemas para tratamiento secundario<sup>58</sup>.

Enseguida se mencionan algunos procesos pertenecientes al tratamiento secundario.

#### **5.4.1. Tipos de sedimentación<sup>59</sup>.**

Existen principalmente dos tipos de sedimentación, la sedimentación de zona de partículas con concentración intermedia y la sedimentación por compresión (sedimentador secundario).

<sup>58</sup> Hernández Muñoz Aurelio. "Depuración de Aguas Residuales". Ed Colección SEINOR, 1998. pp. 390

La sedimentación de zona de partículas con concentración intermedia o con interferencia comprende las partículas que se encuentran muy cercanas unas a otras, lo que provoca que las fuerzas interpartículas interfieran con la sedimentación de partículas vecinas. Las partículas permanecen en una posición fija relativa una a otra y todas sedimentan con una velocidad constante. En la parte superior de la masa que se asienta, se tiene una interfaz sólido-líquido entre las partículas y la zona clarificada. (clarificador final del proceso biológico de lodos).

El sedimentador por compresión corresponde a las partículas que están en tan alta concentración que se tocan unas con otras, y la sedimentación puede ocurrir solo por compresión de la masa.

#### **5.4.2. Proceso aerobio y anaerobio<sup>60</sup>.**

Los procesos biológicos para el tratamiento de aguas residuales, consta de equipos que ponen en contacto a los microorganismos con la materia orgánica durante el tiempo suficiente para que lleven a cabo su oxidación, ya sea bajo condiciones aerobias o anaerobias. En los cuadros 11 y 12 se muestran las ventajas y desventajas del proceso aerobio y anaerobio, respectivamente.

---

<sup>59</sup> Ibid, pp. 238

<sup>60</sup> Fair-Gordon-Okun. "Abastecimiento de aguas y remoción de aguas residuales". Volumen II. Ed Limusa, pp. 472.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ausencia de olores.</li> <li>▪ Mineralización de todos los compuestos biodegradables.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tasa alta de síntesis celular y por consiguiente alta producción de lodos.</li> <li>▪ Requiere de mucha energía eléctrica para oxigenación y mezcla.</li> <li>▪ Gran producción de células en lodos que en algunos casos hace necesaria su digestión, antes de sacarlos y disponerlos.</li> </ul>

CUADRO 11. Ventajas y desventajas del proceso aerobio.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tasas bajas de síntesis celular y por consiguiente poca producción de lodos.</li> <li>▪ El lodo producido es razonablemente estable y puede secarse y disponerse por métodos tradicionales.</li> <li>▪ No requiere oxígeno, por lo tanto usa poca energía eléctrica y es especialmente adaptable a aguas residuales con alta concentración orgánica.</li> <li>▪ Produce metano, el cual puede ser utilizado como energético.</li> <li>▪ Tiene requerimientos nutricionales bajos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Para obtener altos grados de tratamiento requiere temperaturas altas.</li> <li>▪ El medio es corrosivo.</li> <li>▪ Tiene riesgos en la salud por el H<sub>2</sub>S.</li> <li>▪ Exige un intervalo de pH restringido.</li> <li>▪ Requiere concentraciones altas de alcalinidad.</li> <li>▪ Es sensible a la contaminación con oxígeno.</li> <li>▪ Puede presentar olores desagradables por ácidos y amidas.</li> </ul>

CUADRO 12. Ventajas y desventajas del proceso anaerobio.

### 5.4.3. Lodos activados<sup>61</sup>.

Los lodos activados se basan en la formación de un sistema biológico, en el cual los sólidos orgánicos contenidos en las aguas residuales sirven de alimento a una masa microbiana en un medio suspendido y provisto de oxigenación adecuada; se complementa con sedimentación secundaria para la remoción de sólidos biológicos y la recirculación de una parte de los mismos y tiene distintas variaciones, como las siguientes:

- ✓ Flujo de pistón. El suministro de aire a lo largo del reactor es variable.
- ✓ Mezcla completa. Las concentraciones de alimento, microorganismos y de aire son uniformes en el reactor de aireación.
- ✓ Aireación por pasos. El efluente y el aire son introducidos al reactor en distintos puntos del proceso.
- ✓ Oxigenación con oxígeno puro. Permite el ingreso de mayores cargas o la disminución del tiempo de retención.
- ✓ Aeración extendida. Se diseña con mayores tiempos de retención hidráulicos, y opera con altas concentraciones de sólidos en una mezcla completa, produciendo un efluente nitrificado y lodos más estables.
- ✓ Zanjas de oxidación. Representan una variación del sistema de aireación extendida, con agitación mecánica y oxigenación por difusión.

<sup>61</sup> Gordon, M., Fair. "Purificación, tratamiento y remoción de aguas residuales, Ed. Limusa, 1996. pp. 258.

#### 5.4.4. Los sistemas de aireación extendida<sup>62</sup>.

Los sistemas de aireación extendida resisten mayores fluctuaciones en la carga orgánica o hidráulica, son de fácil operación y producen lodos mineralizados, aunque pueden tener alto consumo energético. En todos los procesos de lodos activados, la sedimentación eficiente es esencial para un desempeño adecuado del sistema.

#### 5.4.5. Filtros percoladores o rociadores<sup>63</sup>.

Filtros percoladores o rociadores Es un sistema biológico de medio fijo, en el cual el agua residual se hace percolar a través de un lecho de piedras o elementos plásticos, en la superficie de los cuales se forma una película bacteriana que aprovecha la materia orgánica del efluente; se acompaña de un sedimentador secundario, del cual se puede hacer recircular parte del gasto al filtro. El sistema es fácil de operar; es posible atenuar, mediante la recirculación los choques de carga orgánica del efluente.

#### 5.4.6. Discos biológicos<sup>64</sup>.

Es el segundo sistema de medio fijo, es un sistema rotatorio de discos construidos en material plástico, se encuentra sumergido en un 40% en las aguas residuales, formando una película biológica en su superficie. En este sistema no hay recirculación.

<sup>62</sup> Valdez, Enrique César. "Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales". Facultad de Ingeniería, UNAM, 2001. Primera edición. Pp 3.57

<sup>63</sup> López Ruiz R. "Aguas residuales municipales y biosólidos". Facultad de Ingeniería, UNAM. Pp. 34.

<sup>64</sup> Ibid, pp. 49

#### **5.4.7 Coagulación-sedimentación.**

Consiste en la adición de coagulantes químicos a las aguas residuales para remoción de contaminantes mediante la precipitación en el mezclado rápido de los productos químicos en el agua, mezclado lento para permitir la formación de flóculos y la sedimentación sin ninguna mezcla para separar los flóculos formados. Se emplean como coagulantes: cal, sales de aluminio, sales de fierro y polímeros.

Es un proceso complicado en su operación y mantenimiento, depende más del control adecuado del proceso químico que de la calidad del efluente.

#### **5.4.8. Lagunas de estabilización<sup>65</sup>.**

Las lagunas se clasifican por su contenido de oxígeno en: aerobias, facultativas y de maduración. Básicamente la oxigenación es generada por procesos fotosintéticos de algas microscópicas bajo la acción solar. Este proceso es sensible a la temperatura, a la relación precipitación- evaporación, a la insolación y a la velocidad del viento. En su diseño debe cuidarse el tiempo de retención que debe ser de 30 días.

#### **5.4.9. Precipitación química.**

En esta etapa se separan las sustancias disueltas en la solución; los productos químicos agregados son solubles y los iones liberados reaccionan con los iones existentes en el agua para formar precipitados.

---

<sup>65</sup> López Ruiz R. "Aguas residuales municipales y biosólidos". Facultad de Ingeniería, UNAM. Pp. 82

## 5.5. TRATAMIENTO TERCIARIO<sup>66</sup>.

El tratamiento terciario también es llamado avanzado se define como el tratamiento adicional necesario para eliminar las sustancias suspendidas y disueltas que permanecen después de un tratamiento secundario. Estas sustancias pueden ser materia orgánica, sólidos suspendidos, iones relativamente simples, tales como potasio, calcio, sulfatos, nitratos y fosfatos y los cada vez más complejos compuestos orgánicos sintéticos.

En el cuadro 12 se presentan los componentes típicos que se pueden encontrar en aguas residuales tratadas y sus efectos, se puede apreciar las concentraciones de las sustancias mencionadas. En este nivel del tratamiento, se puede obtener aguas residuales recicladas, se nombra así aquellas que han recibido tratamiento suficiente para volver a ser utilizadas directamente en la industria, agricultura o para aplicaciones municipales limitadas. Mas adelante se mencionan algunos procesos para el tratamiento terciario.

### 5.5.1. Filtración.

El efluente de otro proceso se hace percolar a través de un medio filtrante granular, por gravedad o por bombeo, hasta que este se obstruye y es necesario efectuar un retrolavado. Los medios filtrantes se componen por dos o más lechos distintos, se utiliza para el efecto de la filtración de arena, carbón activado o resinas. Se requiere un monitoreo cuidadoso del efluente.

---

<sup>66</sup> Ibid. Pp. 102

COMPONENTE	EFEECTO	CONCENTRACIÓN CRÍTICA (mg/l)
Sólidos suspendidos.	Puede causar depósitos de lodo o interferir con el cuerpo receptor	Variable
Orgánicos biodegradables.	Puede reducir o agotar el oxígeno del cuerpo receptor.	Variable.
Contaminantes prioritarios.	Tóxico para los humanos, cancerígeno. Tóxico para el ambiente acuático.	Varía con los componentes individuales. Varía en base a la profundidad biota o sedimentos.
Orgánicos volátiles.	Tóxico para los humanos, cancerígeno, forma oxidantes fotoquímicos.	Varía con los componentes individuales.
<b>NUTRIENTES</b>		
Amoniaco.	Incrementa la demanda de cloro, pueden convertirse a nitratos y con el proceso reducir o agotar el oxígeno; con el fósforo puede inducir el desarrollo de crecimientos acuáticos indeseables. Tóxico para los peces.	Cualquier cantidad.  Variable.
Nitratos.	Estimula el crecimiento de algas acuáticas. Puede causar metahemoglobinemia en los infantes (niños azules).	0.3 45
Fósforo.	Interfiere con el ablandamiento por el método cal-soda. Estimula el crecimiento de algas y plantas acuáticas. Interfiere con la coagulación.	0.3 0.015 0.2-0.4
<b>OTROS INORGÁNICOS</b>		
Calcio y magnesio	Incrementa la dureza y los sólidos totales disueltos.	250
Cloro	Imparte sabor salino. Interfiere con la agricultura y procesos industriales.	75-200
Sulfatos	Acción catártica.	600-1000
<b>OTROS ORGÁNICOS</b>		
Agentes Activos superficiales (Surfactantes)	Interferir con la coagulación.	1.0-3.0

**CUADRO 13.** Componentes y efectos típicos de las aguas tratadas<sup>67</sup>.

<sup>67</sup> Hernández Muñoz Aurelio. "Depuración de Aguas Residuales". Ed Colección SEINOR, 1998. pp. 418



### **5.5.2. Intercambio iónico.**

En esta operación se intercambian iones, en específico contenidos en el agua, por iones complementarios que son parte del complejo de un medio de intercambio iónico.

Recarbonatación. Consiste en añadir  $\text{CO}_2$  al agua tratada previamente con cal, con objeto de reducir su pH y evitar posteriormente sedimentación de depósitos de calcio.

Puede llevarse a cabo también añadiendo un ácido débil, aunque así no se logra la remoción de calcio del efluente. Su operación no es complicada.

### **5.5.3. Adsorción por carbón activado.**

El agua percola en un medio con carbón activado, en el que la materia orgánica soluble absorbida en los poros de las partículas de carbón pierde su capacidad de adsorción, requiere de regeneración o sustitución periódica no de retrolavado.

### **5.5.4. Nitrificación.**

Consiste en oxidar el nitrógeno amoniacal a nitrógeno de nitritos, mediante el empleo de tratamientos biológicos en reactores mezclados, con tiempos de retención y manejo de concentraciones de sólidos adecuados, o mediante procesos de dos pasos, para remoción de materia carbonácea y de nitrógeno respectivamente. Requiere además de un mayor control del agua del efluente.

### **5.5.5. Desnitrificación.**

Es un proceso en el cual el nitrógeno de nitritos es reducido a gas nitrógeno, evitando la oxidación de la mezcla o incluso inyectando metanol como fuente de carbón.

#### **5.5.6. Cloración a punto de quiebre.**

Consiste en la dosificación de cloro para oxidar la materia orgánica nitrogenada hasta lograr mantener cloro residual libre. Se aplica como complemento a otros sistemas de remoción de contaminantes orgánicos, nutrientes y bacterias patógenas.

#### **5.5.7. Osmosis inversa.**

Consiste en la inversión del proceso de osmosis mediante la aplicación de presión en el lado de mayor concentración de sales, puede presentarse taponamiento de la membrana, por lo que se utiliza para efluentes con alto grado de tratamiento previo.

#### **5.5.8. Ultrafiltración.**

Es una operación a presión que utiliza membranas porosas para la eliminación de material coloidal y disuelto. Estos sistemas se diferencian de la osmosis inversa, ya que en este caso se aplican presiones relativamente bajas. La ultrafiltración se utiliza para eliminar material coloidal y moléculas grandes con pesos moleculares grandes. Se aplica para la eliminación de aceite de corrientes acuosas, de turbiedad y de color coloidales, también se ocupa para la eliminación del fósforo.

#### **5.5.9. Desinfección.**

Los tipos de desinfección se pueden dividir en natural y artificial. La natural se refiere a la eliminación, muerte progresiva de las bacterias producida por agentes naturales tales como la luz solar, la sedimentación, la filtración en las capas arenosas del suelo o la estabilización de la materia orgánica que disminuye la reserva de alimento para los microorganismos. La artificial puede realizarse mediante agentes químicos, físicos y mecánicos así como por radiación.

---

▲ *Agentes químicos.*

Los agentes químicos que se han ocupado como desinfectantes incluyen el fenol y compuestos fenólicos, alcoholes, yodo, cloro y sus compuestos, bromo, ozono, metales pesados, jabones, detergentes sintéticos. El cloro es el desinfectante universal utilizado. El bromo y el yodo ocasionalmente se usan en albercas.

El ozono es un desinfectante sumamente efectivo, su uso se ha incrementado en el tratamiento de aguas aún cuando no deja concentración residual. La acidez y alcalinidad extremas se pueden usar para destruir organismos patógenos, debido a que los valores de pH mayores a 11 y menores a 3 son relativamente letales para la mayoría de las bacterias.

▲ *Agentes físicos.*

Los desinfectantes físicos que se han utilizado son calor y luz. Calentando el agua hasta el punto de ebullición se puede destruir bacteria patógenas no esporuladas. El calor se emplea regularmente en la industria de bebidas y derivados de leche, pero no es posible aplicarla a grandes cantidades de agua por su alto costo. La luz solar es un buen desinfectante, por lo regular se emplea luz ultravioleta para desinfectar pequeñas y grandes cantidades de agua, la eficiencia del proceso depende la penetración de la luz en el agua. Es muy difícil emplear radiación ultravioleta en la desinfección de aguas residuales cuando no se tiene partículas suspendidas.

▲ *Medios mecánicos.*

Un gran número de bacterias se eliminan por medios mecánicos físicos durante el tratamiento de aguas residuales.

En seguida mencionaremos los tres procesos mas utilizados en la desinfección de aguas residuales.

### 5.5.9.1. Cloración.

Se utiliza cloro como oxidante para desinfectar las aguas residuales tratadas, monitoreando el cloro residual para controlar la dosificación. Su eficiencia depende de diversos factores.

En ocasiones es necesario declarar los efluentes, mezclándolos con dióxido de azufre.

La desinfección con cloro es posiblemente el metodo mas empleado en todo el mundo, debido a que satisface la mayoría de las características mencionadas en el cuadro 12.

Usos y reacciones del cloro: Cuando el cloro en forma de gas  $\text{Cl}_2$  se pone en contacto con el agua, tiene lugar a dos reacciones: la hidrólisis y la ionización.

La hidrólisis se presenta con la siguiente reacción:



La ionización se presenta de la siguiente reacción:



La disposición de HOCl depende del pH, pH de 6 o menor el OCl se inhibe y predomina el HOCl. El ácido hipocloroso (HOCl) es el desinfectante más efectivo, por ello la desinfección mas letal de cloro ocurre a pH bajo, o sea en medio ácido. Se considera que el HOCl es de 80 a100 veces mas efectivo que el OCl para exterminar *E. coli*.

### **5.5.9.2. Ozonación.**

Se utiliza ozono como oxidante para remover virus, bacterias y otros organismos patógenos, así como olor y sabor del agua tratada, presenta eficiencia y confiabilidad altas, aunque no tienen capacidad residual para protección de los efluentes.

### **5.5.9.3. Luz ultravioleta.**

Una apropiada dosis de radiación ultravioleta (UV) ha mostrado ser un efectivo bactericida y virucida además de que no contribuye a la formación de compuestos tóxicos. Actualmente la lámpara de arco de mercurio de baja presión es la principal forma de generar la UV usada para la desinfección. La radiación entra a la pared celular de los microorganismos y es absorbida por el material celular, incluyendo el DNA y RNA, con el cual se evita su replicación, o causa la muerte de la célula.

## 5.6. TRATAMIENTO DE LODOS<sup>68</sup>.

Durante el tratamiento de las aguas residuales se presenta ese problema: los lodos, exceptuando los casos de aplicación en el suelo, a mayor grado de tratamiento también es mayor la cantidad de lodos que debe manejarse.

La operación individual más complicada y costosa de una planta de tratamiento de aguas puede ser la disposición de lodos.

### 5.6.1. Características de los lodos.

El lodo está constituido por materiales de las aguas residuales crudas que se sedimentan y por sólidos producidos en los procesos del tratamiento. Existen tres tipos de lodos:

Primarios o crudos. Son los lodos que se concentran en el fondo del sedimentador primario contiene de 3 a 8 % de sólidos (1 % de sólidos ~ 1 g de sólidos / 100 mL de volumen de lodos), de estos aproximadamente 70% son de naturaleza orgánica. Este lodo adopta rápidamente condiciones anaerobias y es pestífero.

Lodos Secundarios: Este lodo es el desecho del tratamiento secundario, contiene microorganismos y materiales inertes. El 90% de los sólidos son de procedencia orgánica. Cuando se suprime el suministro de aire toma condiciones anaerobias y pestíferas si no se trata antes de disponerlo. En algunos casos los lodos secundarios contienen precipitados químicos en gran cantidad debido a que el tanque de aireación es usado como tanque de reacción para la adición de sustancias químicas, necesarias para remover el fósforo.

<sup>68</sup> Gordon, M., Fair. "Purificación, tratamiento y remoción de aguas residuales, Ed. Limusa, 1996. pp. 348

Lodos Terciarios. La naturaleza del proceso terciario influye en las características del lodo generado.

### **5.6.2. Procesos básicos para tratamiento de lodos.**

Los procesos básicos para el tratamiento de lodo son los siguientes:

- ✓ **Espesamiento:** Generalmente en los lodos se aplican dos métodos para llevar a cabo el espesamiento: flotación y por gravedad en el primero se propicia que los sólidos floten por encima del líquido y en el segundo se les deja sedimentar hasta el fondo. El objetivo del espesamiento es remover la mayor cantidad de agua que sea posible antes de la deshidratación final o digestión del lodo.

En general los lodos activados responden bien a la flotación y mal al espesamiento por gravedad.

- ✓ **Acondicionamiento químico:** Se dispone de varios métodos de acondicionamiento de lodos para facilitar la separación de líquidos y sólidos. Uno de los más usados es la adición de coagulantes, también se le ha dado uso de acondicionador a la ceniza producida por la incineración del lodo, otro tratamiento es por medio de calor, este tiene que alcanzar una temperatura y presión considerable que oscilan entre 175 a 230°C y 1000 a 2000 kPa.
- ✓ **Deshidratado.** El método de deshidratación más común ha sido el de lechos de secado. Estos lechos son especialmente empleados en las plantas pequeñas debido a su sencillez y operación y mantenimiento. Filtración a vacío, consiste en un tambor cubierto con un material filtrante o tela, el cual rota parcialmente sumergido en una tina de lodo acondicionado, dentro del tambor se aplica vacío para extraer el agua, dejando los sólidos o la torta sobre el medio filtrante, cuando el tambor termina el ciclo una hoja metálica raspa la torta del filtro y el ciclo comienza de

nuevo. Filtro prensa de banda continua, el filtro prensa funciona exitosamente con muchos lodos mezclados, los resultados típicos de deshidratación, de lodos mezclados digeridos con un contenido inicial de cinco por ciento de sólidos produce una torta de 19 por ciento de sólidos a una tasa de 32.8 kg/m<sup>2</sup>h.

- ✓ Reducción. Mediante procesos de oxidación química se reduce el volumen del lodo, convirtiendo los sólidos en formas más estables para la incineración.

### **5.6.3 Disposición y utilización de lodos.**

Los residuos de una planta de tratamiento de aguas residuales (lodos sobrantes, tratados o no) son una calamidad para el personal de diseño y operación. El único sitio práctico para su disposición es el suelo.

Este capítulo se divide en cuatro apartados, los tres primeros se refieren a la disposición de los lodos y el último son ideas sobre su utilización.

**Dispersión del terreno.** La práctica de aplicar los residuos de la planta con el propósito de recuperar los nutrientes, agua o regenerar el suelo, se denomina dispersión del terreno. Es una opción que hace uso benéfico de los fosfatos y nitratos contenidos en el lodo, estos pueden fertilizar terrenos de cultivos o árboles y pueden mejorar las condiciones del suelo de un campo de golf. Las tasas de aplicación están gobernadas por las características del suelo. **Disposición en relleno sanitario.** Esto se define como el entierro planeado de los sólidos del agua residual. Los sólidos se colocan en un sitio preparado y cubierta con una capa de suelo. El material de cubierta debe ser más profundo que la zona de arado (aproximadamente 0.20 a 0.25 m).

**Disposición en suelo destinado.** La disposición del suelo destinado consiste en la aplicación de cargas de lodo pesadas en un terreno delimitado, con acceso prohibido al público y que



se dispone en exclusiva para la disposición de lodos del agua residual. La disposición en suelo destinado no significa su utilización en el sitio.

Utilización. Los sólidos de las aguas residuales no solo pueden emplearse como nutrientes de suelos. En algunos casos el lodo se mezcla con viruta de madera y se le deja descomponer para que forme composta. También puede usarse junto con los desechos municipales para composteo. La recuperación de cal y el uso del lodo para producir carbón activado también se han practicado.

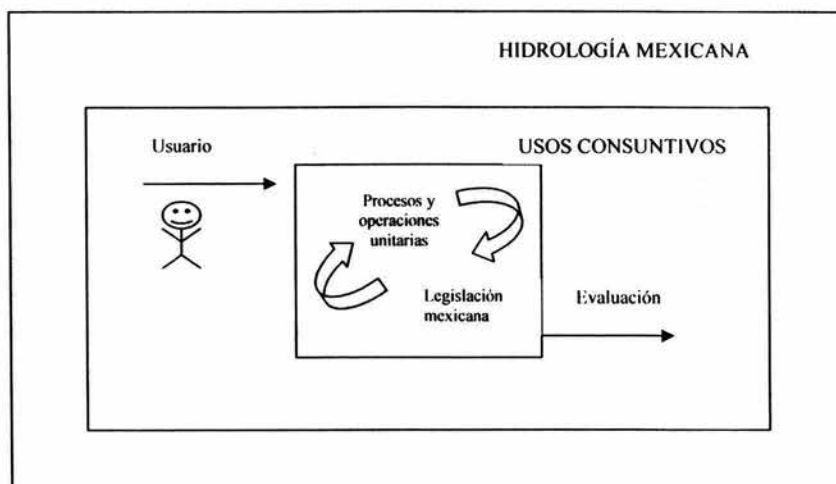
---

## **CAPÍTULO 6. MODELO PROPUESTO**

### **6.1. INTRODUCCIÓN AL MODELO PROPUESTO.**

En este capítulo se presenta un modelo de evaluación tecnológica para los procesos y operaciones unitarias aplicadas en el tratamiento de las aguas residuales basándose en la legislación mexicana. Como punto de partida tenemos que definir lo que es un modelo. El modelo suele definirse en los términos de aquellas variables cuyas características tienen una gran influencia sobre el comportamiento del sistema bajo análisis<sup>69</sup>. Así mismo, el objetivo de este modelo es establecer un criterio que enmarque la acción preventiva, correctiva o de diseño para un problema de agua en México; que sea útil a personas ajenas al tratamiento de aguas y que desconozcan el marco hidrojurídico del país.

Para esquematizar los alcances que puede llegar a tener este modelo, en la figura 8 se muestra que no solo se evalúan los procesos y operaciones unitarias *per se*, sino también, se amplía la visión de la problemática del agua en México porque para evaluar los distintos tratamientos de aguas existen parámetros legislados para los usos consuntivos de la misma. Por lo tanto, en este modelo se pretende hacer uso de las normas y leyes referidas en el capítulo 3 para los distintos tipos de agua a tratar (agrícola, doméstica e industrial) y así poder evaluar la tecnología pertinente para cada tratamiento. Por consiguiente, es de gran importancia saber de donde se toma esta agua, si son de medios naturales (aguas superficiales y acuíferos), de drenajes o alcantarillados y saber cual es el uso que se quiera dar a esta (agrícola, doméstica e industrial).



**FIGURA 8.** Representación de la hidrología mexicana.

También para la preparación del modelo, se deben considerar los diferentes tipos de agua que existen, en la siguiente lista se mencionan algunos de ellos.

- ✓ Aguas Nacionales<sup>70</sup>
- ✓ Aguas Residuales<sup>71</sup>
- ✓ Aguas Pluviales<sup>72</sup>
- ✓ Aguas residuales de proceso<sup>73</sup>
- ✓ Aguas residuales domésticas<sup>74</sup>
- ✓ Aguas residuales tratadas<sup>75</sup>

<sup>69</sup> T. F. Edgar, D. M. Himmelblau. Optimization of chemical process. Ed. Mc Graw-Hill. Pp. 2

<sup>70</sup> Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, publicada en el Diario Oficial de la Federación de fecha de enero de 1997.

<sup>71</sup> Ibid, p. 5

<sup>72</sup> Ibid, p.5

<sup>73</sup> Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996, Publicada en Diario Oficial de la Federación de fecha 3 de Junio de 1998

<sup>74</sup> Ibid, p.5

- ✓ Aguas crudas<sup>76</sup>
- ✓ Aguas de alcantarillado

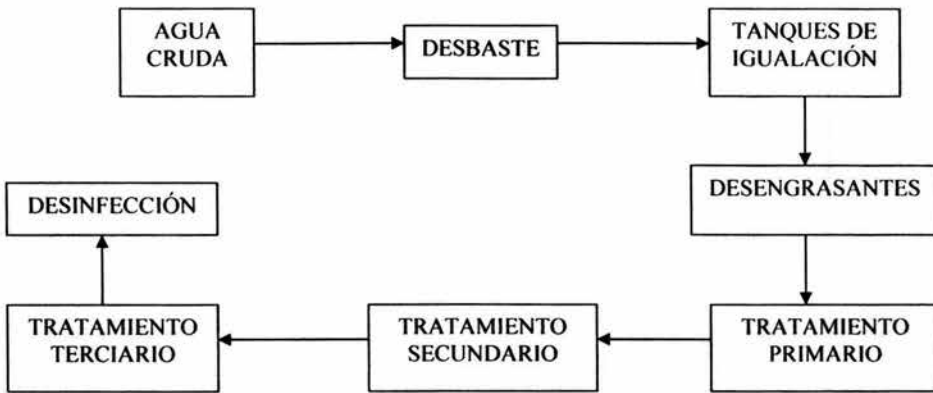
Esta lista nos ayuda para fijar los parámetros de extracción y descarga de las aguas tratadas a los cuerpos receptores, y tomarlas en cuenta para el modelo que se presentará más adelante.

## **6.2. TRENES DE TRATAMIENTO PARA USOS CONSUNTIVOS DEL AGUA.**

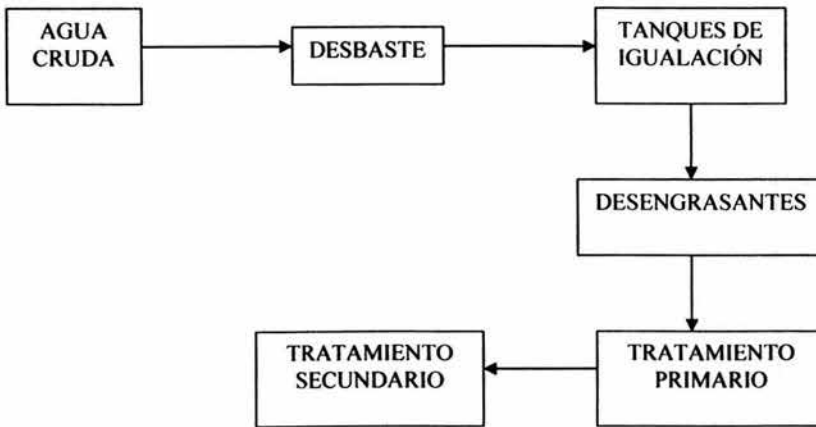
Los procesos y operaciones unitarias que se proponen para el tratamiento de agua industrial y doméstica se basan en el cuadro 13, en este se presenta que a cada tipo de contaminante evaluado le corresponde una tecnología u operación unitaria y que esta a su vez esta regulada por alguna norma o ley. Para demostrar la eficiencia de este cuadro se puede elaborar un tren de tratamiento dependiendo el tipo de contaminante que contenga el agua y el uso que se le de a esta. En seguida se muestran los diagramas de flujo de un tratamiento de agua para uso doméstico, industrial y agrícola. Al referirnos a las tecnologías para este último las bases fueron las normas oficiales mexicanas, las cuales muestran los parámetros necesarios que deben tener este tipo de agua.

---

<sup>75</sup> Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Publicada en el diario Oficial de la Federación de fecha de 21 de Septiembre de 1998

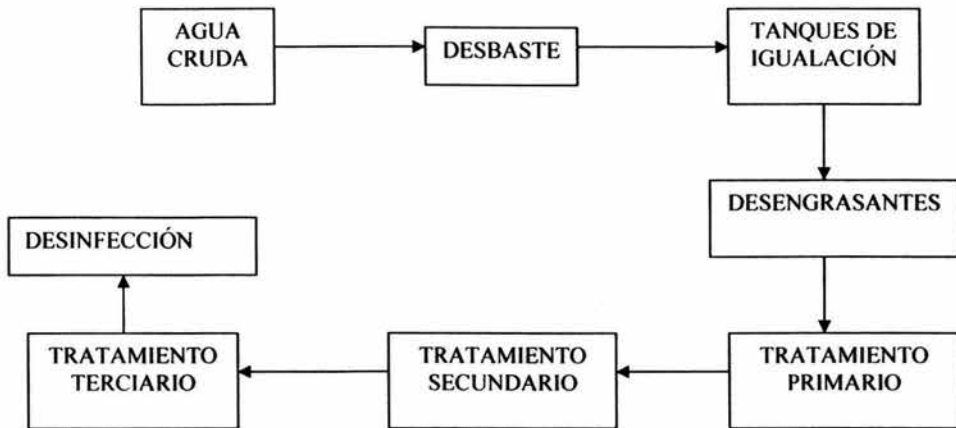


**ESQUEMA 5.** Tren de tratamiento para aguas consuntivas de uso doméstico.



**ESQUEMA 6.** Tren de tratamiento para aguas consuntivas de uso industrial.

<sup>76</sup> Ibid, p.5



**ESQUEMA 7.** Tren de tratamiento para aguas consuntivas de uso agrícola.

### 6.3. CONSIDERACIONES PARA ELABORAR EL MODELO.

Para la elaboración del modelo es importante conocer varias cosas, como el tipo de usuario que lo ocuparía, el tipo de evaluación que se le dará al agua, y los criterios de evaluación que se darán a cada problema en particular. Por lo tanto, se ha propuesto la elaboración de un cuestionario de usuario, un cuestionario del objeto problema y dos cuadros donde se plantean los parámetros de contaminación, los procesos y operaciones unitarias, así como las normas que los regulan.

#### 6.3.1. Cuestionario 1. Usuario del modelo<sup>77</sup>.

Este cuestionario se empleará para conocer al usuario que manejará el modelo propuesto en esta tesis, con la finalidad de tener una mayor interacción.

<sup>77</sup> Para la realización de este cuestionario se basó en el Programa Nacional Hidráulico 2001-2006.

*Cuestionario 1.*

<b>Preguntas</b>	<b>Respuestas</b>
1. ¿Qué tipo de usuario eres?	A. Caracterizador de empresas transformadoras, procesadoras, extractoras y productivas. B. Caracterizador del agua para uso agrícola. C. Caracterizador del agua para uso doméstico.
1.2. ¿Cuál es el nombre de la empresa?	
1.3. ¿En que estado de la República se encuentra la empresa?	A. Aguascalientes B. Baja California C. Baja California Sur D. Campeche E. Coahuila F. Colima G. Chiapas H. Chihuahua I. Distrito Federal J. Durango K. Guanajuato L. Guerrero M. Hidalgo N. Jalisco O. México P. Michoacán

- Q. Morelos
- R. Nayarit
- S. Nuevo León
- T. Oaxaca
- U. Puebla
- V. Querétaro
- W. Quintana Roo
- X. San Luis Potosí
- Y. Sinaloa
- Z. Sonora
- AA. Tabasco
- BB. Tamaulipas
- CC. Tlaxcala
- DD. Veracruz
- EE. Yucatán
- FF. Zacatecas

1.4. ¿Cuál es el nombre del cuerpo de donde se extrae el agua?

- A. Ríos
- B. Lagos
- C. Mares
- D. Presas
- E. Otros (especifique)

1.5. ¿A qué mesorregión pertenece?

- 1. Sur Sureste
- 2. Centro Occidente
- 3. Centro
- 4. Noreste
- 5. Noroeste



- 1.6. ¿A qué región pertenece?
- I. Península de Baja California
  - II. Noroeste
  - III. Pacífico Norte
  - IV. Balsas
  - V. Pacífico Sur
  - VI. Río Bravo
  - VII. Cuencas centrales del Norte
  - VIII. Lerma-Santiago-Pacífico
  - IX. Golfo del Norte
  - X. Golfo Centro
  - XI. Frontera Sur
  - XII. Península de Yucatán
  - XIII. Valle de México
- 1.6.1.1. ¿Cuáles son los ríos y cuencas de la región I?
- Río Colorado  
Río Tijuana
- 1.6.2.1. ¿Cuál es la ubicación de las región I?
- Baja California Norte, Baja California Sur
- 1.6.3.1. ¿Cuál es la problemática del agua en la región I?
- Escasez  
Explosión socio-económica y demográfica (Fuerte demanda del agua)  
Sequías prolongadas  
Sobreexplotación de acuíferos  
Baja calidad del agua por intrusiones salinas en los acuíferos  
Deficiente tratamiento de aguas residuales  
Baja eficiencia de los sistemas de agua potable  
Baja eficiencia de riego
- 1.6.1.2. ¿Cuáles son los ríos y cuencas de la región II?
- Río Sonora  
Río Yaqui  
Río Mayo  
Río Concepción  
Río Asunción  
Río Matape  
Río Sonoita
- 1.6.2.2. ¿Cuál es la ubicación de las región II?
- Sonora, Chihuahua

- 1.6.3.2. ¿Cuál es la problemática del agua en la región II?
- Deficiente suministro de agua potable y de alcantarillado
  - Ineficiente uso y manejo del agua en la agricultura
  - Contaminación de cuerpos de agua
  - Insuficiente infraestructura de medición para calidad del agua
  - Daños por inundación y sequías
  - Competencia entre los usos del agua
  - Sobreexplotación de acuíferos
- 1.6.1.3. ¿Cuáles son los ríos y cuencas de la región III?
- Río San Pedro
  - Río El Fuerte
  - Río Sinaloa
  - Río Acaponeta
  - Río Presidio
- 1.6.2.3. ¿Cuál es la ubicación de las región III?
- Sinaloa, Durango, Chihuahua, Nayarit, Zacatecas
- 1.6.3.3. ¿Cuál es la problemática del agua en la región III?
- Deficiencias de riego
  - Degradación de la calidad del agua superficial
  - Degradación de la calidad de aguas subterráneas
  - Inundaciones
  - Sobreexplotación de acuíferos
- 1.6.1.4. ¿Cuáles son los ríos y cuencas de la región IV?
- Río Balsas
  - Cuenca Alto Atoyac, Nexapa, Amacuzac
- 1.6.2.4. ¿Cuál es la ubicación de las región IV?
- Morelos, Tlaxcala, Puebla, Estado de México, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Jalisco
- 1.6.3.4. ¿Cuál es la problemática del agua en la región IV?
- Baja cobertura de agua potable en el medio rural
  - Baja eficiencia en el uso del agua para riego
  - Saneamiento escaso en el medio rural
  - Contaminación de aguas superficiales y subterráneas
  - Sobreexplotación de acuíferos
  - Daños por fenómenos hidrometeorológicos extremos

- 
- 1.6.1.5. ¿Cuáles son los ríos y cuencas de la región V? Río Atoyac  
Río la Unión  
Río Papagayo  
Río Tehuantepec
- 1.6.2.5. ¿Cuál es la ubicación de la región V? Oaxaca, Guerrero
- 1.6.3.5. ¿Cuál es la problemática del agua en la región V? Baja cobertura de agua potable en centros urbanos y comunidades rurales  
Baja cobertura de alcantarillado y saneamiento en comunidades rurales  
Baja eficiencia en el uso del agua para riego  
Degradación de la calidad de los cuerpos de agua  
Daños por fenómenos hidrometeorológicos extremos
- 1.6.1.6. ¿Cuáles son los ríos y cuencas de la región VI? Río Bravo
- 1.6.2.6. ¿Cuál es la ubicación de la región VI? Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas.
- 1.6.3.6. ¿Cuál es la problemática del agua en la región VI? Escasez  
Uso ineficiente  
Contaminación por efluentes industriales y municipales  
Sobreexplotación de acuíferos
- 1.6.1.7. ¿Cuáles son los ríos y cuencas de la región VII? Río Nazas  
Aguanaval
- 1.6.2.7. ¿Cuál es la ubicación de la región VII? Durango, Zacatecas, Coahuila, San Luis Potosí, Nuevo León, Tamaulipas.

- 1.6.3.7. ¿Cuál es la problemática del agua en la región VII?
- Deficiencia en la calidad del servicio de agua potable y de alcantarillado
  - Sobreexplotación de acuíferos
  - Degradación de la calidad del agua
  - Competencia de los usuarios por su uso
- 1.6.1.8. ¿Cuáles son los ríos y cuencas de la región VIII?
- Río Lerma
  - Río Santiago
  - Lago de Chapala
  - Lago de Pátzcuaro
- 1.6.2.8. ¿Cuál es la ubicación de las región VIII?
- Colima, Aguascalientes, Nayarit, Querétaro, México, Jalisco, Guanajuato, Michoacán, Zacatecas
- 1.6.3.8. ¿Cuál es la problemática del agua en la región VIII?
- Escasez de aguas superficiales
  - Disminución de los niveles del Lago de Chapala
  - Contaminación de las aguas superficiales, ríos, presas y lagos
  - Sobreexplotación y contaminación de acuíferos
  - Oferta insuficiente para satisfacer las demandas de agua
  - Baja eficiencia en su aprovechamiento para el sector agrícola y urbano
  - Sequías
  - Inundaciones
- 1.6.1.9. ¿Cuáles son los ríos y cuencas de la región IX?
- Río Panuco
  - Río Soto de la Marina
  - Laguna Chairel
  - Río Tula
- 1.6.2.9. ¿Cuál es la ubicación de las región IX?
- Hidalgo, San Luis Potosí, Tamaulipas, Veracruz, Querétaro, Guanajuato, Edo. De México, Nuevo León.
- 1.6.3.9. ¿Cuál es la problemática del agua en la región IX?
- Baja cobertura en el servicio de agua potable
  - Baja cobertura del alcantarillado
  - Uso ineficiente para uso agrícola
  - Degradación de su calidad
  - Sobreexplotación de acuíferos
- 1.6.1.10. ¿Cuáles son los ríos y cuencas de la región X?
- Río Blanco
  - Río Calzadas
  - Río Dren Valsequillo

- 1.6.2.10. ¿Cuál es la ubicación de las Veracruz, Oaxaca, Puebla, Hidalgo, región X?
- 1.6.3.10. ¿Cuál es la problemática del agua en la región X?
- Baja cobertura de agua potable  
Baja cobertura del alcantarillado  
Contaminantes de corrientes superficiales  
Infraestructura hidroagrícola desaprovechada  
Inundaciones  
Escasez  
-
- 1.6.1.11. ¿Cuáles son los ríos y cuencas de la región XI?
- Río Grijalva  
Río Coatzacoalcos
- 1.6.2.11. ¿Cuál es la ubicación de las Chiapas, Tabasco, Campeche, Oaxaca región XI?
- 1.6.3.11. ¿Cuál es la problemática del agua en la región XI?
- Deficiente e insuficiente agua potable  
Resago en el servicio de agua potable  
Bajo aprovechamiento del agua superficial  
Inundaciones  
Contaminación de corrientes superficiales
- 1.6.1.12. ¿Cuáles son los ríos y cuencas de la región XII?
- Río Candelaria  
Río Hondo  
Río Champotón
- 1.6.2.12. ¿Cuál es la ubicación de las Yucatán, Quintana Roo. región XII?
- 1.6.3.12. ¿Cuál es la problemática del agua en la región XII?
- Contaminación de acuíferos por descarga de aguas residuales  
Degradación de la calidad del agua  
Deficiente servicio de agua potable
- No existe desarrollo agrícola  
Insuficiente información en los sistemas de medición y monitoreo.

- 1.6.1.13. ¿Cuáles son los ríos y cuencas de la región XIII?
- Río Panuco
  - Río Tula
  - Río Tepeji
  - Río Salado
  - Río el Salto
  - Río Alafayucan
- 1.6.2.13. ¿Cuál es la ubicación de la región XIII?
- Zona metropolitana de la Ciudad de México,
- 1.6.3.13. ¿Cuál es la problemática del agua en la región XIII?
- Sobreexplotación de acuíferos
  - Suministro insuficiente de agua potable
  - Ineficiencia del agua para usos agrícolas
  - Inundaciones
  - Competencia por uso del agua

### **6.3.2. Cuestionario 2. Objeto del modelo y criterios de evaluación .**

El cuestionario 2 nos dará los datos suficientes para conocer el agua problema a la que nos vamos a enfrentar y con ayuda de los cuadros 13 y 14 determinaremos los parámetros a los que debemos sujetar esta agua basándonos en la ley y así poder dar recomendaciones de procesos y operaciones unitarias que serán útiles para la remoción de los contaminantes que contenga y así poder solucionar el problema.

## Cuestionario 2.

<b>Preguntas</b>	<b>Respuestas</b>
2.- ¿De qué fuente proviene el agua?	<ul style="list-style-type: none"> <li>A. Superficiales</li> <li>B. Acuíferos</li> <li>C. Tratadas.</li> <li>D. Proceso.</li> <li>E. Otras (especificar de cuál).</li> </ul>
2.1. ¿Existe planta de tratamiento de aguas?	<ul style="list-style-type: none"> <li>A. Si (Pasar a la sig. Pregunta)</li> <li>B. No</li> </ul>
2.1.1. ¿Qué tratamiento, operaciones y procesos unitarios utiliza?	<p style="margin-left: 40px;">Tratamiento preliminar</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>A. Cribado o desbaste</li> </ul> <p style="margin-left: 40px;">Tratamiento primario</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>A. Flotación</li> <li>B. Igualación</li> <li>C. Homogenización</li> <li>D. Neutralización</li> <li>E. Precloración</li> <li>F. Preaireación</li> <li>G. Sedimentación</li> </ul> <p style="margin-left: 40px;">Tratamiento secundario</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>A. Tratamiento fisico-químico</li> <li>B. Tratamiento biológico</li> <li>C. Lagunas de estabilización</li> </ul>

## Tratamiento terciario

- A. Filtración
- B. Ultrafiltración
- C. Intercambio iónico
- D. Adsorción por carbon activado
- E. Nitrificación
- F. Desnitrificación
- G. Osmosis inversa
- H. Desinfección

2.2. ¿Qué flujo de entrada utiliza en la planta de tratamiento?

2.3. Según la evaluación previa al agua problema contestar las siguiente pregunta. ¿Qué contaminantes contiene el agua problema, y en que cantidades?

Sólidos totales

- 1 - 200 ( )
- 201 - 500 ( )
- 501 - 1000 ( )

Sólidos en suspensión totales

- 1 - 100 ( )
- 101 - 300 ( )
- 301 - 500 ( )

Sólidos en suspensión totales volátiles

- 1 - 70 ( )
- 71 - 250 ( )
- 251 - 400 ( )

Sólidos en suspensión totales fijos

- 1 - 30 ( )
- 31 - 50 ( )
- 51 - 100 ( )



**Sólidos sedimentables totales**

1 – 40 ( )  
41 – 180 ( )  
181 – 250 ( )

**Sólidos sedimentables totales volátiles**

1 – 16 ( )  
17 – 72 ( )  
73 – 100 ( )

**Coliformes fecales (PM<sup>\*</sup>)**

<1000 ( )  
>1000 ( )

**Sólidos sedimentables totales fijos**

1 – 24 ( )  
25 – 108 ( )  
109 – 150 ( )

**Demanda bioquímica de oxígeno, a 20°C (D.B.O.)**

1 – 100 ( )  
101 – 200 ( )  
201 – 300 ( )

**Demanda química de oxígeno (D.Q.O)**

1 – 160 ( )  
161 – 450 ( )  
451 – 800 ( )

**Nitrógeno total (N.)**

1 – 25 ( )  
26 – 50 ( )  
51 – 86 ( )

**Nitrógeno orgánico (N.)**

>10 ( )  
>20 ( )  
>35 ( )

**Amoníaco libre (N-NH<sub>4</sub>)**

>15 ( )  
>30 ( )  
>50 ( )

**Nitritos (N-NO<sub>2</sub>)**

0 ( )  
>0.05 ( )  
>0.1 ( )

**Nitratos (N-NO<sub>3</sub>)**

>0.10 ( )  
>0.20 ( )  
>0.40 ( )

**Fósforo total (P)**

>2 ( )  
>7 ( )  
>17 ( )

**Grasas**

0 ( )  
>20 ( )  
>40 ( )

**Lo ignoro**

( )

2.4. ¿Cuál será el uso del agua problema?

- A. Uso agrícola
- B. Uso doméstico
- C. Uso industrial
- D. Agua de proceso
- E. Otros (especificar)

2.5. Si el uso será que el agua se dirija a un cuerpo receptor, indicar su nombre y ubicación.

**Mesorregión**  
**Región**  
**Nombre del cuerpo receptor**

- 1. Sur Sureste
- 2. Centro Occidente
- 3. Centro
- 4. Noreste
- 5. Noroeste

- I. Península de Baja California
- II. Noroeste
- III. Pacífico Norte
- IV. Balsas
- V. Pacífico Sur
- VI. Río Bravo
- VII. Cuencas centrales del Norte
- VIII. Lerma-Santiago-Pacífico
- IX. Golfo del Norte
- X. Golfo Centro
- XI. Frontera Sur
- XII. Península de Yucatán
- XIII. Valle de México

2.6. ¿En qué criterios de control de calidad se basan?

2.7. ¿Conoce la legislación para el tratamiento de aguas?

- A. Si
- B. No

Una vez resueltos los cuestionarios el siguiente paso es hacer una comparación de los parámetros que surgieron del análisis previo del agua problema con ayuda de la tabla 14, para conocer el grado de contaminación del agua a tratar. Posteriormente, en el cuadro 15 se menciona la tecnología u operación unitaria que se recomienda para cada tipo de contaminante, basándose en el marco hidrojurídico que rige en nuestro país.

Parámetro	Unidades	Contaminación	Contaminación	Contaminación
		fuerte	media	baja
Sólidos totales	mL/	1000	500	200
Sólidos en suspensión totales	mL/L	500	300	100
Sólidos en suspensión totales volátiles	mL/L	400	250	70
Sólidos en suspensión totales fijos	mL/L	100	50	30
Sólidos sedimentables totales	mL/L	250	180	40
Sólidos sedimentables totales volátiles	mL/L	100	72	16
Coliformes fecales (PM*)	NMP/100mL	**	**	1000
Sólidos sedimentables totales fijos	mL/L	150	108	24
Demanda bioquímica de oxígeno, a 20°C (D.B.O.)	mg/L	300	200	100
Demanda química de oxígeno (D.Q.O)	mg/L	800	450	160
Nitrógeno total (N.)	mg/L	86	50	25
Nitrógeno orgánico (N.)	mg/L	35	20	10
Amoníaco libre (N-NH <sub>4</sub> )	mg/L	50	30	15
Nitritos (N-NO <sub>2</sub> )	mg/L	0, 10	0, 05	0
Nitratos (N-NO <sub>3</sub> )	mg/L	0, 40	0, 20	0, 10
Fósforo total (P)	mg/L	17	7	2
Grasas	mg/L	40	20	0

• (PM) Promedio mensual

• \*\* No se especifica en la norma.

**Cuadro 14.** Tabla comparativa de los parámetros que miden la contaminación del agua problema.

FUENTE DEL CONTAMINANTE	CONTAMINANTE	PARÁMETROS	LEGISLACIÓN	TECNOLOGIA U OPERACIÓN UNITARIA	IMPORTANCIA AMBIENTAL
Uso doméstico y desechos industriales	Sólidos suspendidos. Sólidos totales. Sólidos sedimentables	Color S.S.T. S.S.V.	NOM-001-ECOL-1996 NOM-002-ECOL-1996 NOM-003-ECOL-1997 NOM-004-SEMARNAT-2002	Sedimentación. Desbaste y aireación. Variaciones de filtración. Flotación. Adición de polímeros y reactivos químicos. Coagulación.	Causa depósitos de lodos y condiciones anaerobias en ecosistemas acuáticos.
Desechos domésticos e industriales.	Materia orgánica biodegradable.	D.B.O. D.Q.O.	NOM-001-ECOL-1996 NOM-003-ECOL-1997	Variación de lodos activados. Película fija : filtros percoladores. Película fija : discos biológicos. Filtración intermitente de arena. Sistemas fisicoquímicos.	Causa degradación biológica que incrementa la DBO en cuerpos receptores.
Desechos domésticos.	Patógenos.	Coliformes fecales. Estreptococos fecales.	NOM-001-ECOL-1996 NOM-003-ECOL-1997 NOM-004-SEMARNAT-2002	Cloración. Hipocloración. Ozonación.	Causa enfermedades transmitibles.

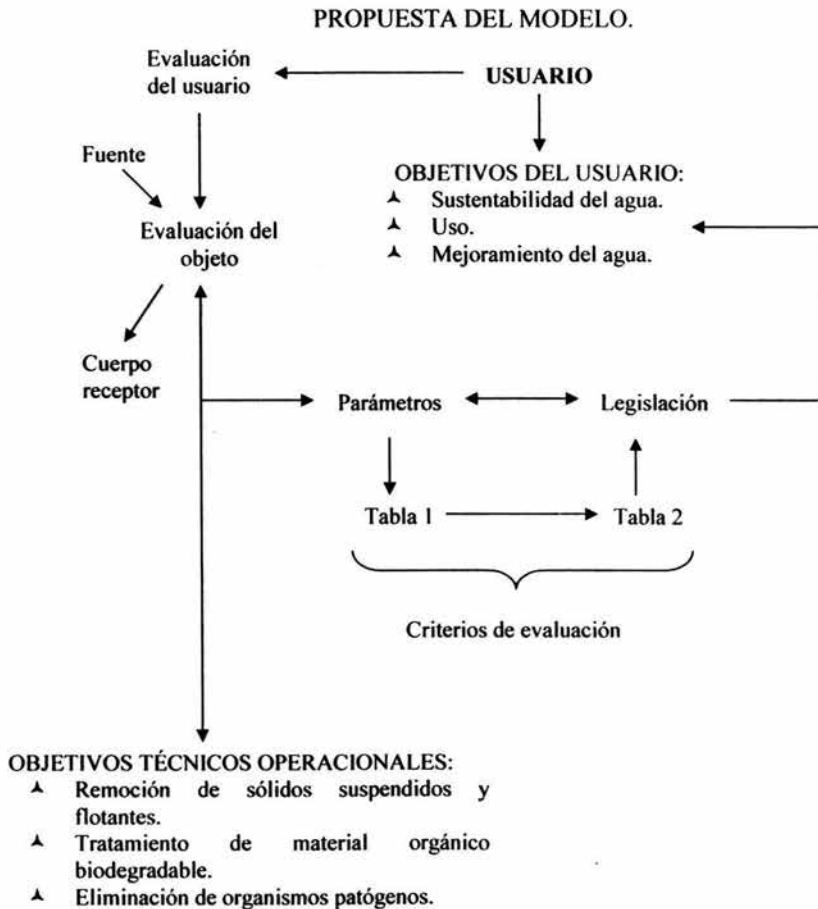
**Cuadro 15.** Tabla de los procesos y operaciones unitarias para la remoción de contaminantes.

FUENTE DEL CONTAMINANTE	CONTAMINANTE	PARÁMETROS	LEGISLACIÓN	TECNOLOGÍA U OPERACIÓN UNITARIA	IMPORTANCIA AMBIENTAL
Desecho domestico o industria.	Nutriente nitrógeno.	Nitritos.	NOM-001-ECOL-1996	Variaciones de sistema de cultivo suspendido con nitrificación y desnitrificación. Variaciones de sistema de película fija con nitrificación y desnitrificación. Arrastre de amoniaco Intercambio de iones. Cloración en el punto critico. Adición de sales metálicas. Coagulación y sedimentación con cal. Eliminación biológica y química del fósforo.	Puede causar eutroficación.
Desecho domestico o industria.	Nutrientes fósforo.	Fosfatos.	NOM-001-ECOL-1996		Puede causar eutroficación.
Desecho domestico o industria.	Grasas y aceites	D,Q,O	NOM-001-ECOL-1996	Flotación. Tanques desnatadores.	Interfiere con el tratamiento y reuso del efluente
Desechos industriales, minería, etc.	Metales pesados.	Metales pesados.	NOM-001-ECOL-1996 NOM-002-ECOL-1996 NOM-004-SEMARNAT-2002	Precipitación química. Intercambio de iones.	Son tóxicos pueden interferir con el tratamiento y reuso del efluente.
Desecho domestico o industria.	Sólidos inorgánicos disueltos.	Alcalinidad. Nitrógeno Amoniacal. Nitratos Fosfatos Oxígeno disuelto	NOM-001-ECOL-1996 NOM-002-ECOL-1996 NOM-004-SEMARNAT-2002	Intercambio de iones. Osmosis inversa. Electrodialisis.	Puede influir con el reuso del efluente

Cuadro 15. Tabla de los procesos y operaciones unitarias para la remoción de contaminantes (continuación).

#### 6.4. DESCRIPCIÓN DEL MODELO<sup>78</sup>.

Con base a lo que se ha mencionado en este capítulo y al los antecedentes de este trabajo se propone un modelo de evaluación de las tecnologías para tratamiento de aguas. Para proponer el modelo se toman en cuenta los criterios antes mencionados.



**ESQUEMA 8.** Propuesta de modelo

<sup>78</sup> Pérez, A., Smith, W., Nuño, P., Zelaya, E. "Sistema para jerarquizar tecnologías". *Tecnol.Ciencia*. Ed. IMIQ, 2000. 15 (2):100-107.

### 6.5. EJEMPLO APLICADO AL MODELO PROPUESTO.

Para comprobar la funcionalidad y practicidad del modelo propuesto, se realizará un ejemplo del tratamiento del agua de un pozo cuyo destino será para uso agrícola.

Siguiendo el diagrama de flujo del modelo propuesto el primer paso a realizar es la evaluación del usuario y del objeto, esto se realiza contestando los siguientes cuestionarios:

#### *Cuestionario 1. Usuario*

<b>Preguntas</b>	<b>Respuestas</b>
1. ¿Qué tipo de usuario eres?	<p>A. Caracterizador de empresas transformadoras, procesadoras, extractoras y productivas.</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> B. Caracterizador del agua para uso agrícola.</p> <p>C. Caracterizador del agua para uso doméstico.</p>
1.2. ¿Cuál es el nombre de la empresa?	Agricultor (Sr. Pérez)
1.3. ¿En que estado de la República se encuentra la empresa?	<p>A. Aguascalientes</p> <p>B. Baja California</p> <p>C. Baja California Sur</p> <p>D. Campeche</p> <p>E. Coahuila</p> <p>F. Colima</p> <p>G. Chiapas</p> <p>H. Chihuahua</p> <p>I. Distrito Federal</p> <p>J. Durango</p> <p>K. Guanajuato</p> <p>L. Guerrero</p> <p>M. Hidalgo</p>



- N. Jalisco
- O. México
- P. Michoacán
- Q. Morelos
- R. Nayarit
- S. Nuevo León
- T. Oaxaca
- U. Puebla
- ~~V. Querétaro~~
- W. Quintana Roo
- X. San Luis Potosí
- Y. Sinaloa
- Z. Sonora
- AA. Tabasco
- BB. Tamaulipas
- CC. Tlaxcala
- DD. Veracruz
- EE. Yucatán
- FF. Zacatecas

1.4. ¿Cuál es el nombre del cuerpo de donde se extrae el agua?

- A. Ríos
- B. Lagos
- C. Mares
- D. Presas
- ~~Otros (especifique) — Pozo~~

1.5. ¿A qué mesorregión pertenece?

- 1. Sur Sureste
- ~~2. Centro Occidente~~

3. Centro
4. Noreste
5. Noroeste

1.6. ¿A qué región pertenece?

- I. Península de Baja California
- II. Noroeste
- III. Pacífico Norte
- IV. Balsas
- V. Pacífico Sur
- VI. Río Bravo
- VII. Cuencas centrales del Norte
- ~~VIII. Loma Santiago Pacífico~~
- IX. Golfo del Norte
- X. Golfo Centro
- XI. Frontera Sur
- XII. Península de Yucatán
- XIII. Valle de México

1.6.1.1. ¿Cuáles son los ríos y cuencas de la región I? Río Colorado  
Río Tijuana

1.6.2.1. ¿Cuál es la ubicación de las Baja California Norte, Baja California Sur región I?

1.6.3.1. ¿Cuál es la problemática del agua en la región I? Escasez  
Explosión socio-económica y demográfica (Fuerte demanda del agua)  
Sequías prolongadas  
Sobreexplotación de acuíferos  
Baja calidad del agua por intrusiones salinas en los acuíferos  
Deficiente tratamiento de aguas residuales  
Baja eficiencia de los sistemas de agua potable  
Baja eficiencia de riego

1.6.1.2. ¿Cuáles son los ríos y cuencas de la región II? Río Sonora  
Río Yaqui  
Río Mayo  
Río Concepción  
Río Asunción  
Río Matape  
Río Sonoita

- 1.6.2.2. ¿Cuál es la ubicación de las Sonora, Chihuahua región II?
- 1.6.3.2. ¿Cuál es la problemática del agua en la región II?
- 1.6.1.3. ¿Cuáles son los ríos y cuencas de la región III?
- 1.6.2.3. ¿Cuál es la ubicación de las región III?
- 1.6.3.3. ¿Cuál es la problemática del agua en la región III?
- 1.6.1.4. ¿Cuáles son los ríos y cuencas de la región IV?
- 1.6.2.4. ¿Cuál es la ubicación de las región IV?
- 1.6.3.4. ¿Cuál es la problemática del agua en la región IV?

Deficiente suministro de agua potable y de alcantarillado  
 Ineficiente uso y manejo del agua en la agricultura  
 Contaminación de cuerpos de agua  
 Insuficiente infraestructura de medición para calidad del agua  
 Daños por inundación y sequías  
 Competencia entre los usos del agua  
 Sobreexplotación de acuíferos

Río San Pedro  
 Río El Fuerte  
 Río Sinaloa  
 Río Acaponeta  
 Río Presidio

Sinaloa, Durango, Chihuahua, Nayarit, Zacatecas

Deficiencias de riego  
 Degradación de la calidad del agua superficial  
 Degradación de la calidad de aguas subterráneas  
 Inundaciones  
 Sobreexplotación de acuíferos

Río Balsas  
 Cuenca Alto Atoyac, Nexapa, Amacuzac

Morelos, Tlaxcala, Puebla, Estado de México, Oaxaca, Guerrero, Michoacán, Jalisco

Baja cobertura de agua potable en el medio rural  
 Baja eficiencia en el uso del agua para riego

- 
- Saneamiento escaso en el medio rural  
Contaminación de aguas superficiales y subterráneas  
Sobreexplotación de acuíferos  
Daños por fenómenos hidrometeorológicos extremos
- 1.6.1.5. ¿Cuáles son los ríos y cuencas de la región V? Río Atoyac  
Río la Unión  
Río Papagayo  
Río Tehuantepec
- 1.6.2.5. ¿Cuál es la ubicación de las región V? Oaxaca, Guerrero
- 1.6.3.5. ¿Cuál es la problemática del agua en la región V? Baja cobertura de agua potable en centros urbanos y comunidades rurales  
Baja cobertura de alcantarillado y saneamiento en comunidades rurales  
Baja eficiencia en el uso del agua para riego  
Degradación de la calidad de los cuerpos de agua  
Daños por fenómenos hidrometeorológicos extremos
- 1.6.1.6. ¿Cuáles son los ríos y cuencas de la región VI? Río Bravo
- 1.6.2.6. ¿Cuál es la ubicación de las región VI? Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas.
- 1.6.3.6. ¿Cuál es la problemática del agua en la región VI? Escasez  
Uso ineficiente  
Contaminación por efluentes industriales y municipales  
Sobreexplotación de acuíferos
- 1.6.1.7. ¿Cuáles son los ríos y cuencas de la región VII? Río Nazas  
Aguanaval
- 1.6.2.7. ¿Cuál es la ubicación de las región VII? Durango, Zacatecas, Coahuila, San Luis Potosí, Nuevo León, Tamaulipas.

- 1.6.3.7. ¿Cuál es la problemática del agua en la región VII?
- Deficiencia en la calidad del servicio de agua potable y de alcantarillado  
Sobreexplotación de acuíferos  
Degradación de la calidad del agua  
Competencia de los usuarios por su uso
- 1.6.1.8. ¿Cuáles son los ríos y cuencas de la región VIII?
- Río Lerma  
Río Santiago  
Lago de Chapala  
Lago de Pátzcuaro
- 1.6.2.8. ¿Cuál es la ubicación de las regiones VIII?
- Colima, Aguascalientes, Nayarit, ~~Querétaro~~, México, Jalisco, Guanajuato, Michoacán, Zacatecas
- 1.6.3.8. ¿Cuál es la problemática del agua en la región VIII?
- Escasez de aguas superficiales  
Disminución de los niveles del Lago de Chapala  
~~Contaminación de las aguas superficiales, ríos, presas y lagos~~  
Sobreexplotación y contaminación de acuíferos  
Oferta insuficiente para satisfacer las demandas de agua  
~~Baja eficiencia en su aprovechamiento para el sector agrícola y urbano~~  
Sequías  
Inundaciones
- 1.6.1.9. ¿Cuáles son los ríos y cuencas de la región IX?
- Río Panuco  
Río Soto de la Marina  
Laguna Chairel  
Río Tula
- 1.6.2.9. ¿Cuál es la ubicación de las regiones IX?
- Hidalgo, San Luis Potosí, Tamaulipas, Veracruz, Querétaro, Guanajuato, Edo. De México, Nuevo León.
- 1.6.3.9. ¿Cuál es la problemática del agua en la región IX?
- Baja cobertura en el servicio de agua potable  
Baja cobertura del alcantarillado

	<p>Uso ineficiente para uso agrícola          Degradación de su calidad          Sobreexplotación de acuíferos</p>
1.6.1.10. ¿Cuáles son los ríos y cuencas de la región X?	<p>Río Blanco          Río Calzadas          Río Dren Valsequillo</p>
1.6.2.10. ¿Cuál es la ubicación de las región X?	<p>Veracruz, Oaxaca, Puebla, Hidalgo,</p>
1.6.3.10. ¿Cuál es la problemática del agua en la región X?	<p>Baja cobertura de agua potable          Baja cobertura del alcantarillado          Contaminantes de corrientes superficiales          Infraestructura hidroagrícola desaprovechada          Inundaciones          Escasez          -</p>
1.6.1.11. ¿Cuáles son los ríos y cuencas de la región XI?	<p>Río Grijalva          Río Coatzacoalcos</p>
1.6.2.11. ¿Cuál es la ubicación de las región XI?	<p>Chiapas, Tabasco, Campeche, Oaxaca</p>
1.6.3.11. ¿Cuál es la problemática del agua en la región XI?	<p>Deficiente e insuficiente agua potable          Resago en el servicio de agua potable          Bajo aprovechamiento del agua superficial          Inundaciones          Contaminación de corrientes superficiales</p>
1.6.1.12. ¿Cuáles son los ríos y cuencas de la región XII?	<p>Río Candelaria          Río Hondo          Río Champotón</p>
1.6.2.12. ¿Cuál es la ubicación de las región XII?	<p>Yucatán, Quintana Roo.</p>
1.6.3.12. ¿Cuál es la problemática del agua en la región XII?	<p>Contaminación de acuíferos por descarga de aguas residuales</p>

Degradación de la calidad del agua  
Deficiente servicio de agua potable

No existe desarrollo agrícola  
Insuficiente información en los sistemas de medición y monitoreo.

1.6.1.13. ¿Cuáles son los ríos y cuencas de la región XIII?

Río Panuco  
Río Tula  
Río Tepeji  
Río Salado  
Río el Salto  
Río Alafayucan

1.6.2.13. ¿Cuál es la ubicación de las región XIII?

Zona metropolitana de la Ciudad de México,

1.6.3.13. ¿Cuál es la problemática del agua en la región XIII?

Sobreexplotación de acuíferos  
Suministro insuficiente de agua potable  
Ineficiencia del agua para usos agrícolas  
Inundaciones  
Competencia por uso del agua

**Cuestionario 2. Objeto del modelo y criterios de evaluación .**

<b>Preguntas</b>	<b>Respuestas</b>
2.- ¿De qué fuente proviene el agua?	A. Superficiales B. Acuíferos C. Tratadas. D. Proceso. E. <del>Otras</del> (especificar de cuál). <u>Pozo</u>
2.1. ¿Existe planta de tratamiento de aguas?	A. Si (Pasar a la siguiente pregunta) B. <del>No</del>
2.1.1. ¿Qué tratamiento, operaciones y procesos unitarios utiliza?	Tratamiento preliminar  B. Cribado o desbaste  Tratamiento primario  H. Flotación I. Igualación J. Homogenización K. Neutralización L. Precloración M. Preaireación N. Sedimentación  Tratamiento secundario  D. Tratamiento físico-químico E. Tratamiento biológico F. Lagunas de estabilización



## Tratamiento terciario

- I. Filtración
- J. Ultrafiltración
- K. Intercambio iónico
- L. Adsorción por carbon activado
- M. Nitrificación
- N. Desnitrificación
- O. Osmosis inversa
- P. Desinfección

2.1.2. ¿Qué flujo de entrada utiliza en la planta de tratamiento?

2.2. Según la evaluación previa al agua problema contestar las siguiente pregunta. ¿Qué contaminantes contiene el agua problema, y en que cantidades?

Sólidos totales  
 1-200 ( )  
 201-500 ( X )  
 501-1000 ( )

Sólidos en suspensión totales

1-100 ( X )  
 101-300 ( )  
 301-500 ( )

Sólidos en suspensión totales volátiles

1-70 ( )  
 71-250 ( )  
 251-400 ( )

Sólidos en suspensión totales fijos

1-30 ( )  
 31-50 ( )  
 51-100 ( )

## Sólidos sedimentables totales

1-40 ( )  
41-180 ( )  
181-250 ( )

## Sólidos sedimentables totales volátiles

1-16 ( )  
17-72 (X)  
73-100 ( )

## Coliformes fecales (PM\*)

<1000 (X)  
>1000 ( )

## Sólidos sedimentables totales fijos

1-24 ( )  
25-108 ( )  
109-150 ( )

## Demanda bioquímica de oxígeno, a 20°C (D.B.O.)

1-100 ( )  
101-200 ( )  
201-300 ( )

## Demanda química de oxígeno (D.Q.O)

1-160 ( )  
161-450 ( )  
451-800 ( )

## Nitrógeno total (N.)

1-25 ( )  
26-50 ( )  
51-86 ( )

## Nitrógeno orgánico (N.)

1-10 ( )  
11-20 ( )  
21-35 ( )

Amoníaco libre (N-NH<sub>4</sub>)

1-15 ( )  
16-30 ( )  
31-50 ( )

Nitritos (N-NO<sub>2</sub>)

0 ( )  
>0.05 ( )  
>0.1 ( )

Nitratos (N-NO<sub>3</sub>)

>0.10 ( )  
>0.20 ( )  
>0.40 ( )

## Fósforo total (P)

1-2 ( )  
3-7 ( )  
8-17 ( )

## Grasas

0 ( )  
1-20 ( )  
21-40 ( )

## Lo ignoro

( )

2.4. ¿Cuál será el uso del agua problema?

- A. ~~Uso agrícola~~
- B. Uso doméstico
- C. Uso industrial
- D. Agua de proceso
- E. Otros (especificar)

2.5. Si el uso será que el agua se dirija a un cuerpo receptor, indicar su nombre y ubicación.

#### Mesorregión

- 1. Sur Sureste
- 2. Centro Occidente
- 3. Centro
- 4. Noreste
- 5. Noroeste

#### Región

- I. Península de Baja California
- II. Noroeste
- III. Pacífico Norte
- IV. Balsas
- V. Pacífico Sur
- VI. Río Bravo
- VII. Cuencas centrales del Norte
- VIII. Lerma-Santiago-Pacífico
- IX. Golfo del Norte
- X. Golfo Centro
- XI. Frontera Sur
- XII. Península de Yucatán
- XIII. Valle de México

#### Nombre del cuerpo receptor

2.6. ¿En qué criterios de control de calidad se basan?



Al comparar el contenido del cuadro 14 con el cuadro 15 se llega a la siguiente conclusión:

PARÁMETRO	GRADO DE CONTAMINACIÓN	RECOMENDACIÓN DEL MODELO
Sólidos suspendidos totales	Bajo	No es necesario hacerle algún tratamiento para su remoción, se encuentra en un límite permisible según la norma
Sólidos totales	Media	Para su remoción se recomiendan las siguientes operaciones unitarias: sedimentación, desbaste y aireación, variaciones de filtración, flotación, adición de polímetros y reactivos químicos, coagulación.
Sólidos sedimentables	Media	Par la remoción de los sólidos sedimentables se emplean las mismas operaciones unitarias que se utilizan para sólidos totales.
Grasas y aceites	Media	Utilizar como operaciones unitarias flotación o tanques desnatadores.

**CUADRO 17.** Recomendaciones del modelo.

Como se observa, en el modelo se propone más de una solución para resolver el problema de los contaminantes del agua, por lo tanto, aquí es donde el usuario tomará la decisión de que proceso es el que más le conviene de acuerdo a sus necesidades.

## CONCLUSIONES

- ▲ Una de las ventajas que ofrece este modelo es mejorar la sustentabilidad del agua, debido a que si este modelo se ocupa adecuadamente, las descargas de agua a un cuerpo receptor podrán estar controladas por distintos procesos y operaciones unitarias con la finalidad de que este no sea contaminado. Por consiguiente el modelo se ha basado en los fundamentos legales que rigen las aguas en el territorio nacional para así poder proponer cada proceso u operación unitaria necesario para una descarga adecuada a los cuerpos receptores de agua.
- ▲ El modelo es sencillo y práctico, y como se menciona anteriormente reúne los fundamentos legales con los técnicos operacionales. Por estas razones, para ocupar este modelo no es necesario tener un conocimiento muy elevado acerca del tratamiento de aguas para así poder aplicarlo al agua problema.
- ▲ Sin embargo, a pesar de las ventajas que ofrece este modelo también tiene sus limitantes: Este modelo aunque ofrece varias opciones de procesos u operaciones unitarias que se ocuparían para la resolución del agua problema, no especifica cuál de ellas es la que mejor resolverá su problema de contaminantes debido a que esto depende de los criterios y posibilidades del usuario.
- ▲ Para el desarrollo de esta tesis se tuvo que realizar un extenso trabajo de investigación para conocer los procesos y operaciones unitarias que aborda el modelo propuesto, recopilando en un solo documento los conocimientos básicos que se deben tomar en cuenta para comprender la funcionalidad del modelo.

- ▲ Para llegar a este modelo se tomaron en cuenta varios factores concernientes al agua, por ejemplo, su distribución, problemática, sustentabilidad, etc, con el fin de disminuir el grado de contaminantes desechados a fuentes naturales de agua y así promover su reuso. Por otra parte, también se concientizará al lector de esta tesis sobre la problemática tan crítica que tenemos actualmente por la contaminación de nuestras fuentes naturales de agua, porque si en un futuro las cosas no cambian, las guerras no serán por armamento ni por energéticos, si no se deberán a la falta de agua potable. Actualmente la sustentabilidad de esta no es la adecuada teniendo el riesgo de que muy pronto ya no dispongamos de ella.



# **ANEXOS**

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>Abreviatura</b>	<b>Significado</b>
A.P.I.	American Petroleum Institute
a.C	Antes de Cristo
ART	Artículo
C.O.T.	Carbono orgánico total
C.P.I.	Corrugated Plate Interceptor
D.B.O	Demanda bioquímica de oxígeno
D.Q.O	Demanda química de oxígeno
d.C	Después de Cristo
E.U.A.	Estados Unidos de América
°C	Grados centígrados
km	Kilómetros
kPa	Kilopascal
L	Litros
µm	Micra
mg	Miligramos
mL	Mililitros
mm	Milímetros
NOM	Normas oficiales mexicanas
NMX	Normas mexicanas
NMP	Número más probable
OMS	Organización Mundial de la Salud
O.D	Oxígeno disuelto
PPI	Paralele Plate Interceptor
ppb	Partes por billón
ppm	Partes por millón
%	Por ciento
pH	Potencial Hidrogeno
s	Segundo
S.A.A.M.	Sustancias Activas de Azul de Metileno
UV	Ultravioleta

## LISTA DE CUADROS

<b>Cuadro</b>		<b>Página</b>
1.	Distribución de la precipitación media en México (1941-2001).	5
2.	Parámetros para definir el grado de contaminación de un agua residual.	11
3.	Características promedio de las aguas residuales municipales en México.	12
4.	Disponibilidad de agua en México.	27
5.	Estructura hidrojurídica mexicana.	31
6.	Patógenos comunes transportados por el agua.	55
7.	Sector industrial y tipos de contaminantes.	56
8.	Principales parámetros de calidad del agua.	62
9.	Operaciones y procesos unitarios utilizados para remover contaminantes.	65
10.	Procesos y sistemas para tratamiento secundario.	75
11.	Ventajas y desventajas del proceso aerobio.	77
12.	Ventajas y desventajas del proceso anaerobio.	77
13.	Componentes y efectos típicos de las aguas tratadas	82
14.	Tabla comparativa de los parámetros que miden la contaminación del agua problema.	109
15.	Tabla de los procesos y operaciones unitarias para la remoción de contaminantes.	110
16.	Grado de contaminación del agua problema.	126
17.	Recomendaciones del modelo.	127

## LISTA DE ESQUEMAS

<b>Esquema</b>	<b>Página</b>
1. Componentes del Ciclo Hidrológico Nacional.	4
2. Características de un agua residual doméstica.	9
3. Fuentes contaminantes sobre los causes receptores.	10
4 A. Cronología de los hechos más relevantes en el desarrollo del tratamiento de aguas.	22
4 B. Cronología de los hechos más relevantes en el desarrollo del tratamiento de aguas.	23
5. Tren de tratamiento para aguas consuntivas de uso doméstico	94
6. Tren de tratamiento para aguas consuntivas de uso industrial	94
7. Tren de tratamiento para aguas consuntivas de uso agrícola	95
8. Propuesta del modelo.	112

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1. Distribución de agua a nivel mundial.	3
2. Ciclo del agua.	6
3. Comparación de la población y consumo de agua entre México y Estados Unidos.	17
4. Localización de las Regiones Hidrológicas- Administrativa.	26
5. Relación entre mesorregiones y regiones hidrológicas-administrativas.	27
6. Consumo del Agua en México.	29
7. Aguas Residuales Generadas por Sector.	29
8. Representación de la hidrología mexicana.	92

## RESUMEN DE LA LEY NACIONAL DE AGUAS

TITULO	OBSERVACIONES
I DISPOSICIONES PRELIMINARES	La presente ley es reglamentaria del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales, las disposiciones de esta ley son aplicables a todas las aguas nacionales
II ADMINISTRACIÓN DEL AGUA CAPÍTULO	La autoridad y administración en materia de aguas nacionales corresponde al Ejecutivo Federal, quien la ejercerá a través de "La Comisión". Compete al Ejecutivo Federal. Expedir los decretos para el establecimiento o supresión de la veda de aguas nacionales. Se declara de utilidad pública: La protección, mejoramiento y conservación de cuencas, acuíferos, cauces, vasos. El aprovechamiento de las aguas nacionales para la generación de energía eléctrica. Reestablecer el equilibrio hidrológico de las aguas nacionales , La instalación de plantas de tratamiento de aguas residuales. Se mencionan las atribuciones del Secretario de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Da las atribuciones que tiene el Ejecutivo Federal. Da las facultades que tendrá el Consejo Técnico, "La Comisión" apoyará la organización de los usuarios para mejorar el aprovechamiento del agua.
III PROGRAMACIÓN HIDRAÚLICA	Enumera los puntos de la formulación, implantación y evaluación de la programación hidráulica que comprenden: La formulación e integración de subprogramas, . La formulación y actualización del inventario de las aguas nacionales y de sus bienes públicos inherentes. La clasificación de los cuerpos de agua de acuerdo con los usos y La programación hidráulica respetará la cuota natural de renovación de las aguas.

---

IV DERECHOS DE USO  
O APROVECHAMIENTO  
DE AGUAS  
NACIONALES

Nos dice que es de libre explotación las aguas superficiales para uso doméstico, la explotación uso o aprovechamiento de las aguas nacionales por parte de personas físicas o morales se realizará mediante concesión otorgada por el Ejecutivo Federal a través de "La Comisión", nos menciona lo que deberá contener la solicitud de la concesión, el término de la concesión o asignación para la explotación, no será menor de cinco ni mayor de cincuenta años, da los puntos cuando se suspenderá la concesión o asignación para el uso o aprovechamiento de aguas nacionales, también menciona cuales son los puntos para que la concesión se de por terminada y por ultimo da los derechos, obligaciones de los asignatarios. nos dice que es de libre explotación las aguas superficiales para uso doméstico "La Comisión" llevará el Registro Público de Derechos de Agua, también llevara las constancias de su inscripción en el Registro, toda persona podrá consultar el Registro Público de Derechos de Agua y En el Registro Público de Derechos de Agua se llevará igualmente el registro nacional permanente, por zonas o regiones, para conocer el comportamiento de los acuíferos y su explotación, nos explica a que estará sujeto el cambio de derechos de una concesión,

---

V ZONAS  
REGLAMENTADAS, DE  
VEDA O DE RESERVA

El Ejecutivo Federal, podrá reglamentar la extracción y utilización de aguas nacionales, establecer zonas de veda o declarar la reserva de aguas, el Ejecutivo Federal fijará los volúmenes de extracción y descarga

---

VI USOS DEL AGUA

La explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales superficiales o del subsuelo, se efectuarán mediante asignación que otorgue "La Comisión", en la cual se consignará en su caso la forma de garantizar el pago de las contribuciones, Es competencia de las autoridades municipales, la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales que se les hubieran asignado, incluyendo las residuales, desde el punto de su extracción o de su entrega por parte de "La Comisión" hasta el sitio de su descarga a cuerpos receptores que sean bienes nacionales, "La Comisión" podrá realizar en forma parcial o total, las obras de captación o almacenamiento, conducción y, en su caso, tratamiento o potabilización para el abastecimiento de agua, .- Las descargas de aguas residuales a bienes nacionales o su infiltración en terrenos que puedan

## VI USOS DEL AGUA (CONT.)

contaminar el subsuelo o los acuíferos, se sujetarán a lo dispuesto en el Título Séptimo. "La Comisión" promoverá el aprovechamiento de aguas residuales de los sistemas de agua potable y alcantarillado, que se podrán realizar por los municipios. Los ejidatarios, comuneros y pequeños propietarios, así como los ejidos, comunidades, sociedades y demás personas que sean titulares o poseedores de tierras agrícolas, ganaderas o forestales dispondrán del derecho de explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales que se les hubieren concesionado, se podrán transmitir los derechos de explotación, uso o aprovechamiento de agua para uso agrícola, ganadero o forestal, se podrá otorgar concesión a personas físicas o morales, da los puntos para la administración y operación de los sistemas de aguas para personas físicas y morales, La explotación, uso o aprovechamiento de aguas en ejidos y comunidades para el asentamiento humano o para tierras de uso común se efectuarán conforme lo disponga el reglamento, Los productores rurales se podrán asociar entre sí libremente para constituir personas morales, la indemnización que proceda por la expropiación de las tierras se cubrirá en efectivo, la indemnización se podrá cubrir mediante compensación en especie por un valor equivalente de tierras de riego por cada uno de los afectados, el Ejecutivo Federal determinará si las obras hidráulicas correspondientes al sistema hidroeléctrico deberán realizarse por "La Comisión" o por la Comisión Federal de Electricidad, las personas físicas o morales deberán solicitar concesión a "La Comisión" cuando requieran de la explotación, uso o aprovechamiento de aguas nacionales con el objeto de generar energía eléctrica y La Comisión" determinará la operación de la infraestructura hidráulica para el control de avenidas.

## VII PREVENCIÓN Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DE LAS AGUAS

Es de interés público la promoción y ejecución de las medidas y acciones necesarias para proteger la calidad del agua, la Comisión" tendrá a su cargo: Promover, ejecutar y operar la infraestructura federal y los servicios necesarios para la preservación, conservación y mejoramiento de la calidad del agua en las cuencas hidrológicas y acuíferos, formular programas integrales de protección de los recursos hidráulicos en cuencas hidrológicas y acuíferos, establecer y vigilar el cumplimiento de las condiciones particulares de descarga que deben satisfacer las aguas residuales que se generen en bienes y zonas de jurisdicción federal, de aguas residuales vertidas directamente en aguas y bienes

VII PREVENCIÓN Y  
CONTROL DE LA  
CONTAMINACIÓN DE  
LAS AGUAS  
(CONT.)

nacionales, o en cualquier terreno cuando dichas descargas puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos, autorizar, el vertido de aguas residuales en el mar, en coordinación con la Secretaría de Marina cuando provengan de fuentes móviles o plataformas fijas, vigilar, en coordinación con las demás autoridades competentes, que el agua suministrada para consumo humano cumpla con las normas de calidad correspondientes, y que el uso de las aguas residuales cumpla con las normas de calidad del agua emitidas para tal efecto, promover o realizar las medidas necesarias para evitar que basura, desechos, materiales y sustancias tóxicas, y lodos producto de los tratamientos de aguas residuales, contaminen las aguas superficiales o del subsuelo y II. Ejercer las atribuciones que corresponden a la Federación en materia de prevención y control de la contaminación del agua y de su fiscalización y sanción, en los términos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, "La Comisión" determinará los parámetros que deberán cumplir las descargas, .- Las personas físicas o morales requieren permiso de "La Comisión" para descargar en forma permanente, intermitente o fortuita aguas residuales en cuerpos receptores que sean aguas nacionales, el control de las descargas de aguas residuales a los sistemas de drenaje o alcantarillado de los centros de población, corresponde a los municipios, con el concurso de los Estados cuando así fuere necesario y lo determinen las leyes, "La Comisión", para otorgar los permisos que deberá tomar en cuenta la clasificación de los cuerpos de aguas nacionales a que se refiere el artículo 87, las normas oficiales mexicanas correspondientes y las condiciones particulares que requiera cumplir la descarga. Cuando el vertido o descarga de las aguas residuales afecten o puedan afectar fuentes de abastecimiento de agua potable o a la salud pública, "La Comisión" lo comunicará a la autoridad competente y dictará la negativa del permiso correspondiente o su inmediata revocación, "La Comisión" en los términos del reglamento expedirá el permiso de descarga de aguas residuales, en el cual se deberá precisar por lo menos la ubicación y descripción de la descarga en cantidad y calidad, la infiltración de aguas residuales para recargar acuíferos, requiere permiso de "La Comisión" y deberá ajustarse a las normas oficiales mexicanas que al efecto se emitan, "La Comisión", en el ámbito de su competencia, podrá ordenar la suspensión de las actividades que den origen a las descargas de aguas residuales, explica cuales son las causas de revocación del permiso de descarga de aguas residuales y En las zonas de riego y en aquellas



---

zonas de contaminación extendida o dispersa, el manejo y aplicación de sustancias que puedan contaminar las aguas nacionales superficiales o del subsuelo, deberán cumplir las normas vigentes.

---

#### VIII INVERSION EN INFRAESTRUCTURA HIDRAULICA

"La Comisión" establecerá las normas o realizará las acciones necesarias para evitar que la construcción u operación de una obra altere desfavorablemente las condiciones hidráulicas de una corriente, "La Comisión" establecerá las normas o realizará las acciones necesarias para evitar que la construcción u operación de una obra altere desfavorablemente las condiciones hidráulicas de una corriente, "La Comisión", en los términos del Reglamento, podrá autorizar que el concesionario otorgue en garantía los derechos de los bienes concesionados a que se refiere el presente capítulo, da los puntos por que terminaría esta concesión, Las inversiones públicas en obras hidráulicas federales se recuperarán en la forma y términos que señale la Ley de Contribución de Mejoras por Obras Públicas Federales de Infraestructura Hidráulica, La operación, conservación y mantenimiento de la infraestructura hidráulica se efectuarán con cargo a los usuarios de los servicios respectivos. Las cuotas se determinarán con base en los costos de los servicios.

---

#### IX INFRACCIONES, SANCIONES Y RECURSOS

"La Comisión" sancionará, conforme a lo previsto por esta ley, las siguientes faltas: Descargar en forma permanente, intermitente o fortuita aguas residuales en contravención a lo dispuesto en la presente ley en cuerpos receptores que sean bienes nacionales, explotar, usar o aprovechar aguas nacionales residuales sin cumplir con las normas oficiales mexicanas en materia de calidad y condiciones, explotar, usar o aprovechar aguas nacionales en volúmenes mayores que los que corresponden a los usuarios conforme a los títulos respectivos en el Registro Público de Derechos de Agua, ocupar vasos, cauces, canales, zonas federales, zonas de protección y demás bienes a que se refiere el artículo 113, sin concesión de "La Comisión", alterar, la infraestructura hidráulica autorizada para la explotación, no acondicionar las obras o instalaciones en los términos establecidos en los reglamentos, no instalar los dispositivos necesarios para el registro o medición de la cantidad y calidad de las aguas, e explotar, usar o aprovechar aguas nacionales sin el título respectivo, así como modificar o

IX INFRACCIONES,  
SANCIONES Y  
RECURSOS  
(CONT.)

desviar los cauces, vasos o corrientes, cuando sean propiedad nacional, ejecutar para sí o para un tercero obras para alumbrar, extraer o disponer de aguas del subsuelo en zonas reglamentadas, de veda o reservadas, sin el permiso de "La Comisión", impedir las visitas, inspecciones y reconocimientos que realice "La Comisión", utilizar volúmenes de agua mayores que los que generan las descargas de aguas residuales para diluir y así tratar de cumplir con las normas oficiales, suministrar aguas nacionales para consumo humano que no cumplan con las normas de calidad correspondiente, arrojar o depositar, en contravención a la ley, basura, sustancias tóxicas peligrosas y lodos provenientes de los procesos de tratamiento de aguas residuales, en ríos, cauces, vasos, aguas marinas y demás depósitos o corrientes de agua, o infiltrar materiales y sustancias que contaminen las aguas del subsuelo, desperdiciar el agua ostensiblemente, en contravención a lo dispuesto en la ley, Las faltas a que se refiere el artículo anterior serán sancionadas administrativamente por "La Comisión", con multas que serán equivalentes a los siguientes días del salario mínimo general vigente en el área geográfica y en el momento en que se cometa la infracción: I. 50 a 500, en el caso de violación a las fracciones VI, XI, XV y XVIII; II. 100 a 1000, en el caso de violaciones a las fracciones II, III, IV, VII, X, XVI y XVII; y III. 500 a 10,000, en el caso de violación a las fracciones I, V, VIII, IX, XII, XIII y XIV. En los casos previstos en la fracción IX del artículo anterior, los infractores perderán a favor de la Nación las obras de alumbramiento y aprovechamiento de aguas y se retendrá o conservará en depósito o custodia la maquinaria y equipo de perforación, hasta que se cubran los daños ocasionados y también de las calificaciones para sancionar estas faltas.

---

## RESUMEN DE LA LEY DE METROLOGÍA Y NORMALIZACIÓN EN MATERIA DE METROLOGÍA

El objeto de esta ley de Metrología y Normalización en Materia de Metrología es:

- a) Establecer el Sistema General de Unidades de Medida;
- b) Precisar los conceptos fundamentales sobre metrología;
- c) Establecer los requisitos para la fabricación, importación, reparación, venta, verificación y uso de los instrumentos para medir y los patrones de medida;
- d) Establecer la obligatoriedad de la medición en transacciones comerciales y de indicar el contenido neto en los productos envasados;
- e) Instituir el Sistema Nacional de Calibración;
- f) Crear el Centro Nacional de Metrología, como organismo de alto nivel técnico en la materia; y
- g) Regular, en lo general, las demás materias relativas a la metrología.

En materia de normalización, certificación, acreditamiento y verificación:

- a) Fomentar la transparencia y eficiencia en la elaboración y observancia de normas oficiales mexicanas y normas mexicanas;
- b) Instituir la Comisión Nacional de Normalización para que coadyuve en las actividades que sobre normalización corresponde realizar a las distintas dependencias de la administración pública federal;
- c) Establecer un procedimiento uniforme para la elaboración de normas oficiales mexicanas por las dependencias de la administración pública federal;
- d) Promover la concurrencia de los sectores público, privado, científico y de consumidores en la elaboración y observancia de normas oficiales mexicanas y normas mexicanas;
- e) Coordinar las actividades de normalización, certificación, verificación y laboratorios de prueba de las dependencias de administración pública federal;
- f) Establecer el sistema nacional de acreditamiento de organismos de normalización y de certificación, unidades de verificación y de laboratorios de prueba y de calibración; y
- g) En general, divulgar las acciones de normalización y demás actividades relacionadas con la materia.

TITULO	OBSERVACIONES
IV De la acreditación y Determinación del Cumplimiento.	<p>Los dictámenes de las unidades de verificación serán reconocidos por las dependencias competentes, así como por los organismos de certificación y en base a ellos podrán actuar en los términos de esta Ley y conforme a sus respectivas atribuciones. Las dependencias podrán solicitar el auxilio de las unidades de verificación para la evaluación de la conformidad con respecto de normas oficiales mexicanas, en cuyo caso se sujetarán a las formalidades y requisitos establecidos en esta Ley. El resultado de las operaciones que realicen las unidades de verificación se hará constar en un acta que será firmada, bajo su responsabilidad, por el acreditado en el caso de la personas físicas y por el propietario del establecimiento o por el presidente del consejo de administración, administrador único o director general de la propia unidad de verificación reconocidos por las dependencias, y tendrá validez una vez que haya sido reconocido por la dependencia conforme a las funciones que hayan sido específicamente autorizadas a la misma.</p> <p>La Secretaría, por sí o a solicitud de cualquier dependencia competente o interesado, podrá concertar acuerdos con instituciones oficiales extranjeras e internacionales para el reconocimiento mutuo de los resultados de la evaluación de la conformidad que se lleve a cabo por las dependencias, personas acreditadas e instituciones mencionadas, así como de las acreditaciones otorgadas. Las entidades de acreditación y las personas acreditadas también podrán concertar acuerdos con las instituciones señaladas u otras entidades privadas, para lo cual requerirán el visto bueno de la Secretaría. Cuando tales acuerdos tengan alguna relación con las normas oficiales mexicanas, se requerirá, además, la aprobación del acuerdo por la dependencia competente que expidió la norma en cuestión y la publicación de un extracto del mismo en el Diario Oficial de la Federación. Los convenios deberán ajustarse a lo dispuesto en los tratados internacionales suscritos por los Estados Unidos Mexicanos, al reglamento de esta Ley y, en su defecto, a los lineamientos internacionales en la materia, y observar como principios que:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>I. Exista reciprocidad;</li> <li>II. Sean mutuamente satisfactorios para facilitar el comercio de los productos, procesos o servicios nacionales de que se trate y;</li> <li>III. Se concerten preferentemente entre instituciones y entidades de la misma naturaleza.</li> </ol>

## V De la Verificación

Las personas físicas o morales tendrán la obligación de proporcionar a las autoridades competentes los documentos, informes y datos que les requieran por escrito, así como las muestras de productos que se les soliciten cuando sea necesario para los fines de la presente Ley y demás disposiciones derivadas de ella. En todo caso, respecto a las muestras se estará a lo dispuesto en los artículos 101 al 108 de la presente Ley. Para efectos de control del cumplimiento con normas oficiales mexicanas las dependencias podrán integrar sistemas de información conforme a los requisitos y condiciones que se determinen en el reglamento de esta Ley, y aquellos que establezcan las dependencias a través de disposiciones de carácter general, evitando trámites adicionales. Las dependencias deberán proporcionar a solicitud del secretariado técnico de la Comisión Nacional de Normalización o de cualquier dependencia competente la información contenida en dichos sistemas y otorgar facilidades para su consulta por las partes interesadas.

Las dependencias competentes podrán realizar visitas de verificación con el objeto de vigilar el cumplimiento de esta Ley y demás disposiciones aplicables, independientemente de los procedimientos para la evaluación de la conformidad que hubieren establecido. Al efecto, el personal autorizado por las dependencias podrá recabar los documentos o la evidencia necesaria para ello, así como las muestras conforme a lo dispuesto en el artículo 101. Cuando para comprobar el cumplimiento con una norma oficial mexicana se requieran mediciones o pruebas de laboratorio, la verificación correspondiente se efectuará únicamente en laboratorios acreditados y aprobados, salvo que éstos no existan para la medición o prueba específica, en cuyo caso, la prueba se podrá realizar en otros laboratorios, preferentemente acreditados. Los gastos que se originen por las verificaciones por actos de evaluación de la conformidad serán a cargo de la persona a quien se efectúe ésta. De cada visita de verificación efectuada por el personal de las dependencias competentes o unidades de verificación, se expedirá un acta detallada, sea cual fuere el resultado, la que será firmada por el representante de las dependencias o unidades, en su caso por el del laboratorio en que se hubiere realizado, y el fabricante o prestador del servicio si hubiere intervenido. La falta de participación del fabricante o prestador del servicio en las pruebas o su negativa a firmar el acta, no afectará su validez. Si el producto o el servicio no cumplen satisfactoriamente las especificaciones, la Secretaría o la dependencia competente, a petición del interesado podrá autorizar se efectúe otra verificación en los términos de esta Ley. Esta verificación podrá efectuarse, a juicio de la dependencia, en el

V De la  
Verificación  
(cont.)

mismo laboratorio o en otro acreditado, en cuyo caso serán a cargo del productor, fabricante, importador, comercializador o del prestador de servicios los gastos que se originen. Si en esta segunda verificación se demostrase que el producto o el servicio cumple satisfactoriamente las especificaciones, se tendrá por desvirtuado el primer resultado. Si no las cumple, por confirmado. Para los efectos de esta Ley se entiende por visita de verificación: I. La que se practique en los lugares en que se realice el proceso, alguna fase del mismo, de productos, instrumentos para medir o servicios, con objeto de constatar ocularmente que se cumple con lo dispuesto en esta Ley y demás disposiciones derivadas de ellas, así como comprobar lo concerniente a la utilización de los instrumentos para medir; y/o II. La que se efectúe con objeto de comprobar el cumplimiento de las normas oficiales mexicanas, el contenido o el contenido neto y, en su caso, la masa drenada; determinar los ingredientes que constituyan o integren los productos, si existe obligación de indicar su composición, la veracidad de la información comercial o la ley de los metales preciosos. Esta verificación se efectuará mediante muestreo y, en su caso, pruebas de laboratorio. Cuando exista concurrencia de competencia, la verificación la realizarán las dependencias competentes de acuerdo a las bases de coordinación que se celebren. Las visitas de verificación que lleven a cabo la Secretaría y las dependencias competentes, se practicarán en días y horas hábiles y únicamente por personal autorizado, previa identificación vigente y exhibición del oficio de comisión respectivo. La autoridad podrá autorizar se practiquen también en días y horas inhábiles a fin de evitar la comisión de infracciones, en cuyo caso el oficio de comisión expresará tal autorización.

Los productores, propietarios, sus subordinados o encargados de establecimientos industriales o comerciales en que se realice el proceso o alguna fase del mismo, de productos, instrumentos para medir o se presten servicios sujetos al cumplimiento de la presente Ley, tendrán la obligación de permitir el acceso y proporcionar las facilidades necesarias a las personas autorizadas por la Secretaría o por las dependencias competentes para practicar la verificación, siempre que se cumplan los requisitos establecidos en el presente Título. Cuando los sujetos obligados a su observancia cuenten con un dictamen, certificado, informe u otro documento expedido por personas acreditadas y aprobadas, en los términos de esta Ley, se reconocerá el cumplimiento con las normas oficiales mexicanas.

**BIBLIOGRAFIA.**

Arboleda Valencia Jorge. Teoría y práctica de la purificación de agua. Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (ACODAC), Colombia, 1992.

Branes Raúl. Manual del derecho ambiental Mexicano. Fondo de Cultura Económica México, 2000.

Crites-Tchobanoglous. Aguas residuales en pequeñas poblaciones. Ed. McGraw Hill Bogotá, 2000.

Departamento de Sanidad de New York. Manual de tratamiento de aguas. Ed. Limusa México, 1992.

Eckenfelder, W. Wesley. Industrial Water pollution control. USA, 1989.

Fair, Geyer y Okun. Purificación de aguas y tratamiento y Remoción de Aguas Residuales. Ed. Limusa Wiley, 1993.

Henry and Heninke. Ingeniería Ambiental. Ed. Prentice Hall. México, 1999.

Hernández Muñoz Aurelio. Depuración de Aguas Residuales. Escuela de Ingenieros de Caminos y Puertos. Colección señor No 9. Madrid, 1990.

Historia Universal Salvat Tomo I. Ed. Salvat, 1999.

Jiménez Cisneros Blanca Elena. Tratamiento Primario Avanzado. Instituto de Ingeniería de la UNAM, 1999.

Ley de aguas Nacionales. Fecha de publicación en el Diario Oficial de la Federación 1 de Diciembre 1994.

Ley General de Equilibrio Ecológico y la protección del Medio Ambiente. Fecha de publicación en el Diario Oficial de la Federación, 28 Enero 1998.

Mihekic. Fundamentos de ingeniería ambiental. Ed. Limusa Wiley. México, 2001.

Metcalf and Eddy. Waste water engineering. Treatment disposal and reuse. Ed. McGraw Hill. INC. 1991.

Normas oficiales Mexicanas

NOM-001-ECOL-1996

NOM-002-ECOL-1996

NOM-003-ECOL-1997

Pelczar-Reid-Chan. Microbiología. Ed. McGraw Hill. Madrid, 1991.

Ramalho R. Tratamiento de aguas residuales. Ed. Reverté. Barcelona, 1993.

Sans y Ribas. Ingeniería Ambiental, Contaminación y Tratamientos Productiva. 1995.

Serrano Luisa. Las aguas residuales y su tratamiento. ERCA. México, 1997.

Winkler. Tratamiento biológico de aguas de desecho. Ed. Limusa. México, 1996.