



Universidad del Valle

**CONCEPTOS BÁSICOS DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA
Y PARÁMETROS DE MEDICIÓN**

LUZ EDITH BARBA HO

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE RECURSOS NATURALES Y DEL AMBIENTE
ÁREA ACADÉMICA INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL
SANTIAGO DE CALI
2002**

CONTENIDO

| | Página |
|--|------------------|
| <u>1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA</u> | <u>1</u> |
| <u>1.1 EL AGUA EN LA NATURALEZA</u> | <u>1</u> |
| <u>1.1.1 ESTADO NATURAL</u> | <u>1</u> |
| <u>1.1.2 PROPIEDADES FÍSICAS</u> | <u>2</u> |
| <u>1.1.3 PROPIEDADES QUÍMICAS</u> | <u>2</u> |
| <u>1.1.4 CARACTERÍSTICAS DE LA MOLÉCULA DE AGUA</u> | <u>2</u> |
| <u>1.2 EL CICLO DEL AGUA</u> | <u>3</u> |
| <u>1.3 FUENTES DE AGUA .</u> | <u>6</u> |
| <u>1.4 TIPOS DE AGUAS NATURALES</u> | <u>7</u> |
| <u>1.4.1 AGUA ATMOSFÉRICA</u> | <u>7</u> |
| <u>1.4.2 AGUA SUPERFICIAL</u> | <u>8</u> |
| <u>1.4.3 AGUA DEL SUBSUELO</u> | <u>8</u> |
| <u>1.5 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS NATURALES.</u> | <u>9</u> |
| <u>1.5.1 AGUA DE MAR</u> | <u>9</u> |
| <u>1.5.2 AGUA DE LAGOS Y DE RÍOS</u> | <u>10</u> |
| <u>1.6 USOS DEL AGUA</u> | <u>10</u> |
| <u>1.7 CONTAMINACIÓN</u> | <u>12</u> |
| <u>1.7.1 CONTAMINACIÓN HÍDRICA</u> | <u>13</u> |
| <u>1.7.2 CONTAMINACIÓN HÍDRICA EN COLOMBIA</u> | <u>13</u> |
| <u>1.7.3 PRINCIPALES FUENTES DE CONTAMINACIÓN HÍDRICA</u> | <u>14</u> |
| <u>SECTOR INDUSTRIAL SUSTANCIAS CONTAMINANTES PRINCIPALES</u> | <u>15</u> |
| <u>1.7.4 SUSTANCIAS CONTAMINANTES DEL AGUA</u> | <u>16</u> |
| <u>1.7.5 DISPOSICIÓN Y TRATAMIENTO DE LOS RESIDUOS LÍQUIDOS EN COLOMBIA</u> | <u>18</u> |
| <u>1.8. TIPOS DE AGUAS RESIDUALES</u> | <u>20</u> |
| <u>1.8.1 AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS</u> | <u>20</u> |
| <u>1.8.3 AGUA PLUVIAL</u> | <u>20</u> |
| <u>1.9. SISTEMAS DE ALCANTARILLADOS SEPARADO Y COMBINADO</u> | <u>20</u> |
| <u>1.10. CONTAMINACIÓN POR DESECHOS GRUESOS</u> | <u>21</u> |
| <u>2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS PARÁMETROS PARA MEDIR LA CONTAMINACIÓN</u> | <u>22</u> |
| <u>2.1 CONTAMINANTES DE AGUAS RESIDUALES</u> | <u>22</u> |
| <u>2.2 PARÁMETROS DE CONTROL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES</u> | <u>25</u> |

| | | |
|---------------------|--|-----------|
| <u>2.3</u> | <u>DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)</u> | <u>26</u> |
| <u>2.4</u> | <u>DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)</u> | <u>27</u> |
| <u>2.5</u> | <u>OXIDO – REDUCCIÓN</u> | <u>28</u> |
| <u>2.6</u> | <u>SÓLIDOS</u> | <u>30</u> |
| <u>2.7</u> | <u>GRASAS Y ACEITES</u> | <u>31</u> |
| <u>2.8</u> | <u>NITRÓGENO</u> | <u>34</u> |
| <u>2.9</u> | <u>FÓSFORO</u> | <u>35</u> |
| <u>2.10</u> | <u>PH</u> | <u>36</u> |
| <u>2.11</u> | <u>ALCALINIDAD</u> | <u>37</u> |
| <u>2.12</u> | <u>AGENTES TOXICOS</u> | <u>38</u> |
| <u>2.12.1</u> | <u>PESTICIDAS</u> | <u>38</u> |
| <u>2.12.2</u> | <u>PELIGROS DE LOS PESTICIDAS</u> | <u>38</u> |
| <u>2.12.3</u> | <u>TIPOS DE PESTICIDAS</u> | <u>39</u> |
| <u>2.12.4</u> | <u>PROBLEMAS EN EL USO DE PESTICIDAS</u> | <u>40</u> |
| <u>2.13</u> | <u>METALES PESADOS</u> | <u>43</u> |
| <u>2.13.1</u> | <u>METALES TÓXICOS</u> | <u>43</u> |
| <u>2.13.2</u> | <u>PROCEDENCIA DE LA CONTAMINACIÓN CON METALES TÓXICOS</u> | <u>43</u> |
| <u>2.14</u> | <u>COMPUESTOS ORGÁNICOS</u> | <u>44</u> |
| <u>BIBLIOGRAFÍA</u> | | <u>48</u> |

1. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS CONCEPTOS FUNDAMENTALES DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA

1.1 EL AGUA EN LA NATURALEZA

"El agua es la sustancia básica del universo de la cual se derivan todas las cosas". Tales de Mileto, siglo VI AC."

El agua es una de las sustancias más difundidas y abundantes en el planeta tierra. Es parte integrante de la mayoría de los seres vivos tanto animales como vegetales, y está presente en cantidad de minerales. El agua potable es fundamental para la vida; las civilizaciones han florecido cerca de abastecimientos adecuados de ese líquido. Las civilizaciones modernas han desarrollado técnicas para transportar el agua a grandes distancias y lograr administrarla de tal manera que se pueda usar y reutilizar en forma adecuada.

Hasta el siglo XVIII, esta sustancia denominada apropiadamente "El solvente universal" se creyó que era un elemento y fue el químico inglés Cavendish quien sintetizó agua a partir de la combustión de aire e hidrógeno. Sin embargo los resultados de este experimento no fueron interpretados hasta años más tarde, cuando Lavoisier propuso que el agua no era un elemento sino un compuesto formado por oxígeno y por hidrógeno, siendo su fórmula H_2O .

1.1.1 Estado Natural

El agua es la única sustancia que existe a temperaturas ordinarias en los tres estados de la materia: sólido, líquido y gas.

| SÓLIDO | LÍQUIDO | GAS |
|--|--|-----------------|
| Polos Glaciares Hielo en las superficies de agua en invierno Nieve Granizo Escarcha | Lluvia Rocío Lagos Ríos Mares Océanos | Niebla Nubes |

1.1.2 Propiedades Físicas

El agua es un líquido inodoro e insípido. Tiene un cierto color azul cuando se concentra en grandes masas. A la presión atmosférica (760 mm de mercurio), el punto de fusión del agua pura es de 0 °C y el punto de ebullición es de 100 °C, cristaliza en el sistema hexagonal, llamándose nieve o hielo según se presente de forma esponjosa o compacta, se expande al congelarse, es decir aumenta de volumen, de ahí que la densidad del hielo sea menor que la del agua y por ello el hielo flota en el agua líquida. El agua alcanza su densidad máxima a una temperatura de 4 °C (1g/cc).

Su capacidad calorífica es superior a la de cualquier otro líquido o sólido, siendo su calor específico de 1 cal/g, esto significa que una masa de agua puede absorber o desprender grandes cantidades de calor, sin experimentar apenas cambios de temperatura, lo que tiene gran influencia en el clima (las grandes masas de agua de los océanos tardan más tiempo en calentarse y enfriarse que el suelo terrestre). Los calores latentes de vaporización y de fusión (540 y 80 cal/g, respectivamente) son también excepcionalmente elevados.

1.1.3 Propiedades Químicas

El agua es el compuesto químico más familiar para nosotros, el más abundante y el de mayor significación para nuestra vida. Su excepcional importancia, desde el punto de vista químico, reside en que casi la totalidad de los procesos químicos que ocurren en la naturaleza, no solo en organismos vivos, sino también en la superficie no organizada de la tierra, así como los que se llevan a cabo en el laboratorio y en la industria, tienen lugar entre sustancias disueltas en agua, esto es en disolución. Normalmente se dice que el agua es el disolvente universal, puesto que todas las sustancias son de alguna manera solubles en ella. No posee propiedades ácidas ni básicas, combina con ciertas sales para formar hidratos, reacciona con los óxidos de metales formando ácidos y actúa como catalizador en muchas reacciones químicas.

1.1.4 Características de la Molécula de Agua

La molécula de agua libre y aislada, formada por un átomo de Oxígeno unido a otros dos átomos de Hidrógeno es triangular. El ángulo de los dos enlaces (H-O-H) es de 104,5° y la distancia de enlace O-H es de 0,96 Å. Puede considerarse que el enlace en la molécula es covalente, con una cierta participación del enlace iónico debido a la diferencia de electronegatividad entre los átomos que la forman.

La atracción entre las moléculas de agua tiene la fuerza suficiente para producir un agrupamiento de moléculas. La fuerza de atracción entre el hidrógeno de una molécula con el oxígeno de otra es de tal magnitud que se puede incluir en los denominados enlaces de PUENTE DE HIDRÓGENO. Estos enlaces son los que dan lugar al aumento de volumen del agua sólida y a las estructuras hexagonales de que se habló anteriormente.

1.2 EL CICLO DEL AGUA

Se pudiera admitir que la cantidad total de agua que existe en la Tierra, en sus tres fases: sólida, líquida y gaseosa, se ha mantenido constante desde la aparición de la Humanidad. El agua de la Tierra - que constituye la **hidrósfera** - se distribuye en tres reservorios principales: los océanos, los continentes y la atmósfera, entre los cuales existe una circulación continua - el **ciclo del agua** o **ciclo hidrológico**. El movimiento del agua en el ciclo hidrológico es mantenido por la energía radiante del sol y por la fuerza de la gravedad.

El ciclo hidrológico se define como la secuencia de fenómenos por medio de los cuales el agua pasa de la superficie terrestre, en la fase de vapor, a la atmósfera y regresa en sus fases líquida y sólida. La transferencia de agua desde la superficie de la Tierra hacia la atmósfera, en forma de vapor de agua, se debe a la **evaporación** directa, a la **transpiración** por las plantas y animales y por **sublimación** (paso directo del agua sólida a vapor de agua).

La cantidad de agua movida, dentro del ciclo hidrológico, por el fenómeno de sublimación es insignificante en relación a las cantidades movidas por evaporación y por transpiración, cuyo proceso conjunto se denomina **evapotranspiración**.

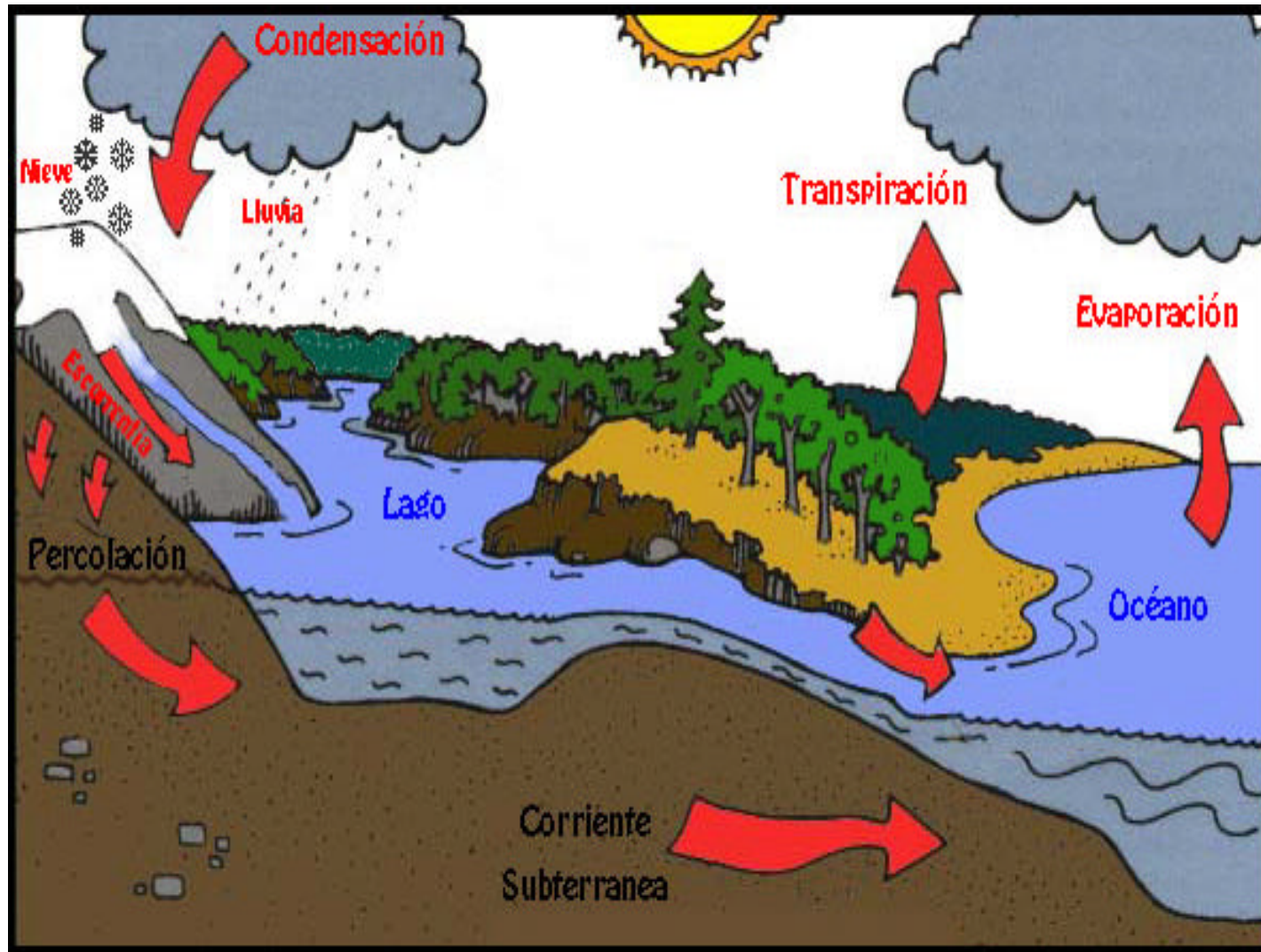
El vapor de agua es transportado por la circulación atmosférica y se condensa luego de haber recorrido distancias que pueden sobrepasar 1,000 Km. El agua condensada da lugar a la formación de nieblas y nubes y, posteriormente, la precipitación.

La precipitación puede ocurrir en la fase líquida (*lluvia*) o en la fase sólida (*nieve* o *granizo*). El agua precipitada en la fase sólida se presenta con una estructura cristalina, en el caso de la nieve, y con estructura granular, regular en capas, en el caso del granizo.

La precipitación también incluye el agua que pasa de la atmósfera a la superficie terrestre por condensación del vapor de agua (**rocío**) o por congelación del vapor (**helada**) y por intercepción de las gotas de agua de las nieblas (nubes que tocan el suelo o el mar). El agua que precipita en tierra puede tener varios destinos. Una parte es devuelta directamente a la atmósfera por evaporación; otra parte escurre por la superficie del terreno, escorrentía superficial, que se concentra en surcos y va a originar las líneas de agua. El agua restante se infiltra, esto es penetra en el interior del suelo; esta agua infiltrada puede volver a la atmósfera por evapotranspiración o profundizarse hasta alcanzar las capas freáticas.

Tanto el escurrimiento superficial como el subterráneo van a alimentar los cursos de agua que desaguan en lagos y en océanos.

Ciclo del Agua



La escorrentía superficial se presenta siempre que hay precipitación y termina poco después de haber terminado la precipitación. Por otro lado, el escurrimiento subterráneo, especialmente cuando se da a través de medios porosos, ocurre con gran lentitud y sigue alimentando los cursos de agua mucho después de haber terminado la precipitación que le dió origen.

De esta forma, los cursos de agua alimentados por capas freáticas presentan unos caudales más regulares.

Los procesos del ciclo hidrológico ocurren en la atmósfera y en la superficie terrestre por lo que se puede admitir dividir el ciclo del agua en dos ramas: aérea y terrestre. El agua que precipita sobre los suelos va a repartirse, a su vez, en tres partes: cuando es devuelta a la atmósfera por evapotranspiración y cuando producen escurrimiento superficial y subterráneo. Esta división está condicionada por varios factores, unos de orden climático y otros dependientes de las características físicas del lugar donde ocurre la precipitación. Así, la precipitación, al encontrar una zona impermeable, origina escurrimiento superficial y la evaporación directa del agua que se acumula y queda en la superficie. Si ocurre en un suelo permeable, poco espeso y localizado sobre una formación geológica impermeable, se produce entonces escurrimiento superficial, evaporación del agua que permanece en la superficie y aún evapotranspiración del agua que fue retenida por la cubierta vegetal. En ambos casos, no hay escurrimiento subterráneo; este ocurre en el caso de una formación geológica subyacente permeable y espesa.

La energía solar es la fuente de energía térmica necesaria para el paso del agua desde las fases líquida y sólida a la fase de vapor, y también es el origen de las circulaciones atmosféricas que transportan el vapor de agua y mueven las nubes.

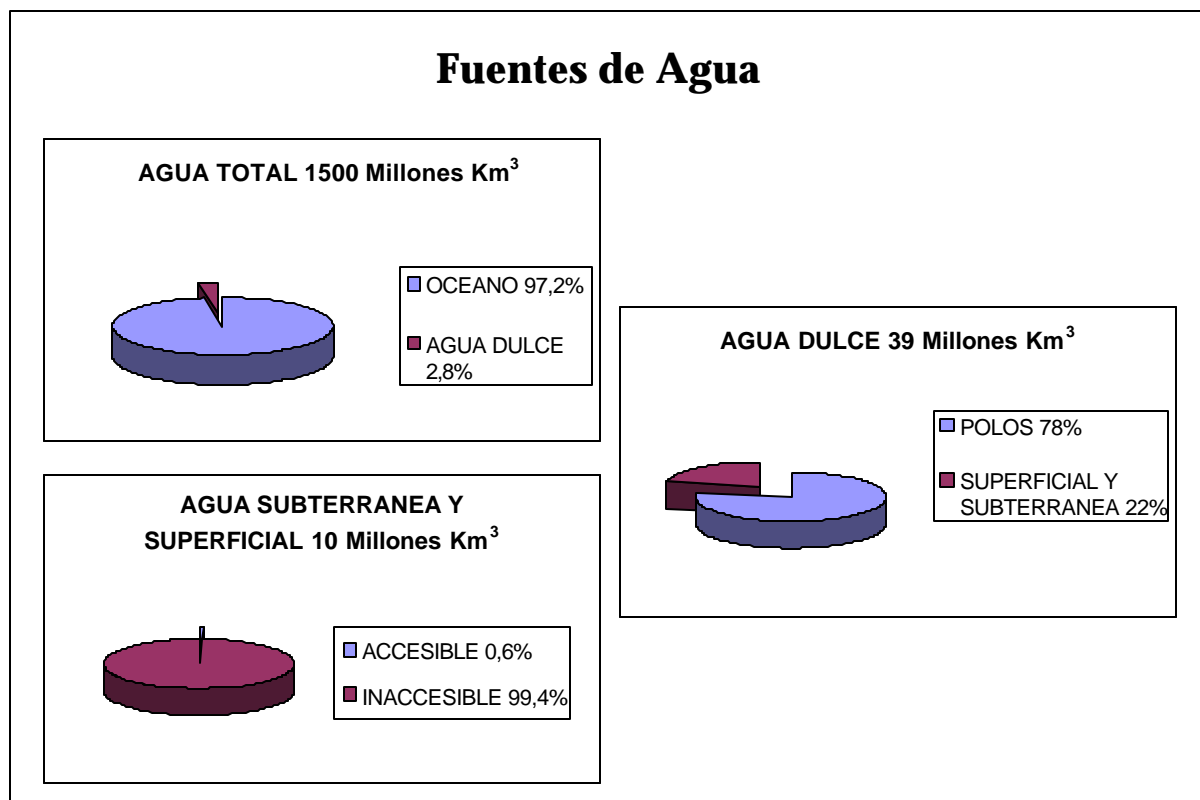
La fuerza de gravedad da lugar a la precipitación y al escurrimiento. El ciclo hidrológico es un agente modelador de la corteza terrestre debido a la erosión y al transporte y deposición de sedimentos por vía hidráulica. Condiciona la cobertura vegetal y, de una forma más general, la vida en la Tierra.

El ciclo hidrológico puede ser visto, en una escala planetaria, como un gigantesco sistema de destilación, extendido por todo el Planeta. El calentamiento de las regiones tropicales debido a la radiación solar provoca la evaporación continua del agua de los océanos, la cual es transportada bajo forma de vapor de agua por la circulación general de la atmósfera, a otras regiones. Durante la transferencia, parte del vapor de agua se condensa debido al enfriamiento y forma nubes que originan la precipitación. El regreso a las regiones de origen resulta de la acción combinada del escurrimiento proveniente de los ríos y de las corrientes marinas.

1.3 FUENTES DE AGUA

La calidad y la cantidad de agua procedente de fuentes de aguas superficiales y subterráneas, se ven influenciadas por la geografía, el clima y las actividades humanas. Las aguas subterráneas normalmente se pueden utilizar con poco o ningún tratamiento. El agua superficial, por otra parte, suele necesitar tratamientos extensos, en especial si está contaminada. En las regiones áridas del mundo la falta de aguas subterráneas o superficiales puede hacer necesaria la desalinización de agua de mar y la recuperación de aguas residuales tratadas. Estos tratamientos son costosos, pero se produce agua de calidad adecuada para cualquier propósito.

Las fuentes de agua como porcentajes del abasto total en todas sus formas constituye una provisión fija de 1500 Millones de Km^3 . Esta suma astronómica hace difícil entender por que la escasez en muchos lugares. Sin embargo, Cuando consideramos el agua que está realmente disponible para usarse, la cantidad se reduce de forma drástica. Aproximadamente el 92.7% de la provisión mundial de agua se encuentra en océanos. El 2.8% restante es agua dulce, pero más del 75% de esta cantidad está encerrada en los bancos de hielo polares, en el suelo y en formaciones rocosas, y en la atmósfera, lo cual deja menos del 25% disponible como agua superficial y subterránea.



Desafortunadamente el acceso a más del 99% de esta agua de superficie y subterránea no es fácil, y dependemos del 0.6% que esta disponible (alrededor del 0.004% de la cantidad original) para abastecernos. Para entender en forma relativa la disponibilidad de agua, supongamos que la provisión total del planeta se representa en un recipiente de cuatro litros, así la cantidad de aguas subterráneas sería menor a 40 ml, entonces, después de quitar el agua que está a una profundidad demasiado grande, o no es acequible por las distancias o está muy contaminada, nos quedaría una sola gota. El ritmo al cual se puede utilizar esta provisión en apariencia abundante de agua dulce está limitado por la rapidez con la cual se mueve el ciclo hidrológico. El tiempo para reponer el agua varía más o menos dos semanas en la atmósfera hasta 10 a 100 años en los lagos, según la profundidad. Es difícil estimar que proporción del presupuesto total de agua está disponible para nuestro uso. Si consideramos sólo el agua que participa anualmente en el ciclo hidrológico, esta precipitación (y una cantidad igual de evaporación) se calcula en 420.000 Km^3 / año, de los cuales el 25% cae en tierra. Si el 30% de este total estuviera disponible para una población mundial de 5000 millones, la provisión de agua dulce en litros per capita por día sería de 17300 l / persona día, pero esta cifra es irreal en muchos lugares debido a la distribución desigual del agua, a un rápido aumento en la demanda y a la contaminación de las fuentes cercanas.

1.4 TIPOS DE AGUAS NATURALES

Según el origen natural, el agua puede clasificarse en: atmosférica, superficial y del subsuelo.

1.4.1 Agua Atmosférica

El agua atmosférica corresponde el agua líquida natural presente en la atmósfera. Esta se concentra, prácticamente toda, en las nubes es entre mil y cien mil veces mayor que el contenido en los aerosoles atmosféricos.

Una nube es una suspensión supersaturada de partículas de agua líquida o sólida en el aire. En realidad la fracción de volumen en una nube ocupada por las partículas es muy pequeña. Comúnmente la concentración es de 0.1 g – 1.0 g por ml, es decir 0.1 – 1.0 ppm. En consecuencia, la mayor parte de la nube está constituida por aire.

El agua atmosférica está en contacto con el aire intersticial de las nubes, con lo que se produce una incorporación de los gases solubles presentes. Este es el caso del formaldehído (HCHO), peróxido de hidrógeno (H_2O_2), el Nitrógeno (N_2), el ozono (O_3), el metano (CH_4) y el dióxido de nitrógeno (NO_2).

El agua atmosférica es poco mineralizada en relación con otros tipos de aguas naturales. La mineralización del agua atmosférica está entre 10 y 100 ppm.

1.4.2 Agua Superficial

Exceptuando el agua marina se pueden distinguir tres tipos de agua:

1. El agua de esorrentía
2. La retenida en reservorios naturales o artificiales y
3. El agua de estuarios.

Esta agua se origina a partir del agua de precipitación atmosférica, de afloraciones de agua subterránea o bien de la fusión de masas de hielo. En el caso de los estuarios, el origen se debe al encuentro entre aguas fluviales y marítimas. A continuación se describen las características y composición química de estos tipos de agua.

La composición química del agua de un río es muy variable, siendo el resultado entre la interacción entre el agua de precipitación, el suelo y las rocas, a lo cual hay sumar los aportes antropogénicos.

1.4.3 Agua del subsuelo

Son aquellas que se encuentran debajo de la corteza terrestre. Al igual que el agua superficial, la composición química del agua es variable, dependiendo de la localización y la profundidad que se considere. Se pueden distinguir dos tipos diferentes de aguas: agua edáfica y agua subterránea.

AGUA EDÁFICA

El agua edáfica se localiza en la zona no saturada del subsuelo, en la cual el agua forma una capa superficial adsorbida sobre la superficie de las partículas sólidas. La composición química del agua edáfica es el resultado de su interacción con las partículas minerales, especialmente a través de procesos de intercambio iónico. También la presencia de especies en el agua edáfica se debe a su interacción con el aire del suelo como con oxígeno, dióxido de carbono y demás gases atmosféricos.

AGUA SUBTERRÁNEA

El agua subterránea está localizada en la zona saturada del subsuelo, es decir en la región donde todos los poros están llenos de agua. Esta agua tiene su origen en la infiltración del agua superficial, lo cual hace que varíe su composición química, enriqueciéndose de elementos minerales y empobreciéndose de materia orgánica. Gracias a ello, el agua subterránea, usualmente, es de gran calidad para el consumo.

1.5 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS NATURALES.

Las aguas naturales por lo común son soluciones de diferente complejidad. Esto se debe al estrecho contacto que tiene el agua natural con los compuestos químicos de la litosfera, la atmósfera y la biosfera. El agua lluvia contiene gases de la atmósfera y, algunas veces, contaminantes de aire disueltos. El agua de los ríos y lagos contiene minerales disueltos, gases atmosféricos, y diversos compuestos químicos liberados por el hombre. El agua de mar constituye una selección compleja que se compone de varios compuestos químicos.

Los compuestos químicos de las aguas naturales contribuyen a determinar las propiedades importantes del agua. Algunos de tales compuestos son vitales para las plantas y los animales acuáticos. Por otro lado, varios de estos compuestos químicos interfieren con el uso al que se destina el agua y por tanto, se les considera contaminantes.

1.5.1 Agua De Mar

Es una gigantesca solución de iones y otras sustancias en las que existen plantas y animales. Los principales constituyentes del agua de mar típica en gramos por Kg. de agua de mar son:

| Constituyentes | Concentración (g por Kg) |
|--|-----------------------------|
| Ión Sodio, Na^{+2} | 10.76 |
| Ión Magnesio, Mg^{+2} | 1.294 |
| Ión Calcio, Ca^{+2} | 0.413 |
| Ión Potasio, K^{+} | 0.387 |
| Ión estroncio, Sr^{+2} | 0.008 |
| Ácido bórico, H_3BO_3 | 0.004 |
| Nitrógeno, N_2 | 0.01 |
| Oxígeno, O_2 | 0.007 |
| Bióxido de Carbono, CO_2 | 0.6 |
| Ión cloruro, Cl^{-} | 19.353 |
| Ión Sulfato, SO_4^{-2} | 2.712 |
| Ión Carbonato de Hidrogeno, HCO_3^{-} | 0.142 |

El agua de mar contiene cerca del 3.5% por masa de iones disueltos. Como se ve en la lista anterior, los iones sodio y cloruro son predominantes, lo que explica que el agua de mar un sabor salobre. Hay muchos otros elementos, denominados trazas que están presentes en el agua en concentraciones muy pequeñas. Cuando se evapora una muestra de agua de mar, se recupera una mezcla de compuestos iónicos.

1.5.2 Agua de Lagos y de Ríos

El agua de los ríos y lagos tienen composiciones variables. Esto es posible ya que tanto unos como otros a menudo contienen agua que ha estado en contacto con varias formaciones geológicas. Este líquido puede haber fluído a grandes y cortas distancias sobre la tierra, pudo haber disuelto minerales y sustancias de vida vegetal en descomposición a lo largo del recorrido y, además, pueden contener materiales descargados por los seres humanos.

El agua de estas fuentes por lo general es conocida como agua dulce. Por supuesto, este tipo de agua no es ni dulce ni pura, sino que es una solución de iones y moléculas disueltos. Los iones más comunes son el ión Calcio, Ca^+ , el ión Magnesio, Mg^{+2} y el ión sodio, Na^+ . Los iones negativos más comunes incluyen el bicarbonato, HCO_3^- y al ión Sulfato, SO_4^{-2} . Existen muchas otras sustancias presentes en el agua de lagos y ríos.

Puesto que las aguas superficiales y las de pozos, sirven para uso y consumo públicos, se han establecido normas químicas a nivel nacional para el agua potable. El servicio de Salud Pública de Estados Unidos ha establecido:

| Especies Químicas | Máxima Concentración Permisible ppm |
|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Arsénico Iónico | 0.05 |
| Ión Bario | 1.0 |
| Ión Cadmio | 0.01 |
| Ión Cloruro | 0.01 |
| Cromo (iónico) | 250 |
| Cobre (iónico) | 0.05 |
| Ión Cianuro | 1 |
| Ión Fluoruro | 0.2 |
| Hierro (iónico) | Sobre 2.0 |
| Pb (iónico) | Sobre 2.0 |
| Sulfonato de alquilo lineal | 0.5 |
| Manganeso (iónico) | 0.05 |
| Ión nitrato más ión nitrito | 10 (es N) |
| Selenio (iónico) | 0.01 |
| Total de sólidos disueltos | 500 |

1.6 USOS DEL AGUA

Cualquier sociedad industrial utiliza enormes cantidades de agua. Se calcula que en Estados Unidos se utilizan mil cuatrocientos millones de metros cúbicos (trescientos setenta millones de galones de agua). En realidad solo una pequeña parte de este volumen se consume en tal forma que pueda convertirse químicamente en otras sustancias. La

mayor parte del agua se emplea en riegos agrícolas, como medio en ciertos procesos industriales y para transportar desechos domésticos e industriales. Aproximadamente el 40% del agua se emplea en el riego agrícola, más del 50% se usa en la industria, incluyendo las plantas de generación de energía eléctrica por medio de vapor, que representan más o menos tres quintas partes del uso industrial y sólo el 10% se emplea para los abastecimientos públicos municipales de agua.

Estos son algunos de los usos industriales:

| Proceso | Consumo de agua (litros) |
|-----------------------------|--------------------------|
| 1 tonelada de acero | 160000 |
| 1 tonelada de aluminio | 144000 |
| Un barril de petróleo crudo | 3000 |
| Una tonelada de Rayón | 800000 |

En algunas industrias se están diseñando procesos mediante los cuales el agua se puede reciclar numerosas veces dentro de una misma planta, antes de limpiarla y liberarla al medio ambiente.

Los usos caseros del agua son (Tabla 5):

Tabla 5. Usos domésticos del agua

| ACTIVIDAD | Consumo de agua (litros) |
|---|--------------------------|
| Ducha | 90 |
| Lavado de dientes | 3 |
| Lavado de 10 Kg de ropa | 140 |
| Lavado de platos sin cerrar la llave 15 minutos | 90 |
| Lavado del carro | 150 |
| Lavado de manos (1 minuto) | 3 |
| Afeitada | 6 |

Actualmente se tienen programas educativos para optimizar el uso del agua en las viviendas.

Los consumos domésticos anuales por persona en algunos países son (Tabla 6):

Tabla 6. Consumos domésticos Industriales

| PAIS | Volumen (litros) |
|-------------------|---------------------|
| Canadá | 93000 |
| Estados Unidos | 110000 |
| Japón | 104000 |
| Comunidad Europea | 55000 |
| Grecia | 40000 |
| India | 9000 |
| Sudan | 7000 |

1.7 CONTAMINACIÓN

Se puede definir como la adición por parte del hombre de materiales o energía calorífica en cantidades que causan alteraciones indeseables del agua, aire o suelo. Cualquiera de estos materiales es llamado contaminante.

La contaminación resulta de muy variados actos, desde derrames inadvertidos y accidentales hasta descargas tóxicas con intenciones delictivas. Cualquiera que sea la causa, la contaminación es un subproducto de las actividades económicas y sociales, tales como: cultivos, construcción de hogares, suministro de energía y transporte, manufactura de artículos, aprovechamiento de la energía atómica y nuestras funciones biológicas básicas (excreciones). Los problemas de la contaminación se han vuelto más opresivos con los años porque tanto el crecimiento demográfico como la expansión per cápita del consumo de materiales y energía aumentan las cantidades de desechos que van al ambiente. Asimismo, muchos materiales muy utilizados, como las latas de aluminio, los envases de plástico e innumerables productos químicos orgánicos sintéticos, no son biodegradables, es decir resisten el embate y la corrupción de los saprófitos y los descomponedores de detritos y se acumulan en el medio.

Es importante observar la extensión y la diversidad de la contaminación. Cualquier parte del ambiente es susceptible a ser afectada y casi todo es contaminante. El único criterio es que la adición del contaminante causa alteraciones indeseables. El efecto de estas alteraciones podría ser en buena medida estético (por ejemplo, la basura afea los acotamientos de las carreteras), o daña todo un ecosistema (la extinción de un pez o la tala de un bosque), o incide en la salud humana (desechos tóxicos que contaminan el suministro de agua, o el aire sucio que causa enfermedades). Asimismo, los efectos van de los muy localizados (la contaminación de un solo pozo) a los mundiales. Estamos acostumbrados a pensar en la contaminación como la introducción en el ambiente de materiales artificiales, pero también causa alteraciones indeseables la adición de demasiados compuestos naturales, como los fertilizantes que van a dar a los arroyos y los ríos.

1.7.1 Contaminación Hídrica

El agua es un elemento esencial para la vida. Constituye el principal componente del protoplasma celular y representa los dos tercios del peso total del hombre y hasta 9 décimas partes del peso de los vegetales.

El hombre puede subsistir con 5 litros de agua diaria; ciertas poblaciones de nómadas de zonas saharianas se contentan con dicha cantidad por largos períodos sin embargo, teniendo en cuenta los aspectos de higiene personal y doméstica, se calcula en una media 40-50 litros consumidos por persona y día. A ello hay que sumar las necesidades de agua en la agricultura y ganadería.

Lo que suponen ciertos países y regiones un consumo de hasta 500 litros de agua por habitante día.

La contaminación ha aumentado en los últimos años y también ha decrecido la calidad de muchos depósitos de agua que son ocasionados por las termoeléctricas. El aumento en la actividad industrial ha incrementado la polución de las aguas de la superficie terrestre y está contaminando cada día los depósitos de agua subterráneas. Para calcular la contaminación de las aguas se usa la medición de la demanda bioquímica de oxígeno o DBO, verificándose la cantidad de oxígeno en un volumen unitario de agua durante el proceso biológico de la degradación de la materia orgánica. Al aumentar la contaminación el oxígeno del agua se agota y hace que muchos animales acuáticos mueran por asfixia, ya que las bacterias aeróbicas presentes en el agua lo consumen en el proceso de biodegradación. La contaminación es una actividad típica del progreso humano, cualquier paso hacia delante trae un paso hacia atrás para la siempre afectada naturaleza. Todo lo que hacemos trae una consecuencia y en caso del hombre es negativa en varias ocasiones. Las personas contaminan sin saber lo que hacen sólo les importan los beneficios para sí mismos. El contaminar es extremadamente peligroso para cualquier ser vivo y tarde o temprano estaremos todos en la lista de los afectados por la inconsciente forma de pensar en nuestro ambiente. La contaminación de las aguas provoca efectos como la distorsión de los ecosistemas, las fuentes de alimento y la belleza natural.

1.7.2 Contaminación Hídrica en Colombia

La contaminación hídrica en Colombia proviene principalmente de las actividades industriales, domésticas y agropecuarias, además del aporte de residuos de las explotaciones mineras y de sitios de disposición final de residuos.

En los grandes centros urbanos y núcleos industriales del país, la calidad del recurso hídrico se ha deteriorado por la descarga de residuos peligrosos (básicamente de la industria química, farmacéutica y de transformación), la descarga de materia orgánica y la presencia de microorganismos patógenos, aportados por algunos tipos de industrias y servicios (hospitales y otros). Adicionalmente, las aguas industriales se manejan conjuntamente con las aguas residuales domésticas de los núcleos urbanos: menos de 20%

de los 1.044 municipios del país tratan sus aguas residuales y de las ciudades grandes tan sólo Bucaramanga cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales.

1.7.3 Principales Fuentes de Contaminación Hídrica

La contaminación de las aguas puede proceder de fuentes naturales o de actividades humanas. En la actualidad la más importante, sin duda, es la provocada por el hombre. El desarrollo y la industrialización implica un mayor uso de agua, una gran generación de residuos de los cuales muchos van a parar al agua y el aumento en el uso de medios de transporte fluvial y marítimo que, en muchas ocasiones, son causa de contaminación de las aguas.

A continuación se consideran las fuentes naturales y antropogénicas de contaminación, estudiando dentro de estas últimas las industriales, los vertidos urbanos, las procedentes de la navegación y de las actividades agrícolas y ganaderas.

Naturales:

Algunas fuentes de contaminación del agua son naturales. Por ejemplo, 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 polución, excepto en algunos lugares muy específicos. La contaminación de origen humano, en cambio, se concentra en zonas concretas y, para la mayor parte de los contaminantes, es mucho más peligrosa que la natural.

De origen humano:

Hay 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.

| Sector industrial | Sustancias contaminantes principales |
|--------------------------|---|
| 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 organoestánicos, compuestos de Zn, Cr, Se, Mo, Ti, Sn, Ba, Co, etc. |

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.

3. **Navegación.** Produce diferentes tipos de contaminación, especialmente con hidrocarburos. Los vertidos de petróleo, accidentales o no, provocan importantes daños ecológicos.

Según el estudio realizado por el Consejo Nacional de Investigación de los EEUU, en 1985 se vertieron al mar unas 3.200.000 toneladas de 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 EEUU estimaba que se habían reducido en un 60% los vertidos durante estos años. Se puede calcular que en 1989 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.

Convenios como el Marpol (Disminución de la polución marina procedente de tierra) de 1974 y actualizado en 1986 y otros, han impulsado una serie de medidas para frenar este tipo de contaminación.

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.

La mayoría de los vertidos directos, por ejemplo en España (el 65% de los 60 000 vertidos directos que hay), son responsabilidad de la ganadería. Se les llama directos a los vertidos que no se hacen a través de redes urbanas de saneamiento, y por tanto son más difíciles de controlar y depurar.

Tabla No. 7. Equivalentes de población (contaminantes expresados en DBO o similar)

| Fuente de desechos | Equivalentes población | Fuente de desechos | Equivalentes población |
|--------------------|------------------------|--------------------|------------------------|
| Hombre | 1 | Vaca | 16.4 |
| Plaza de guardería | 0.5 | Caballo | 11.3 |
| Plaza de escuela | 0.6 | Gallina | 0.014 |
| Plaza de camping | 0.7 | Oveja | 2.45 |
| Plaza hotel | 2.1 | Cerdo | 3 |
| Plaza de hospital | 4.0 | | |

Nota: El equivalente de población es el volumen de agua residual o la carga contaminante producida por una persona en una vivienda normal. Fumigaciones aéreas (líquidos tóxicos en suspensión) Derrames de petróleo (Hidrocarburos gaseosos).

1.7.4 Sustancias contaminantes del agua

Hay un gran número de contaminantes del agua que se pueden clasificar de diferentes maneras. Una posibilidad bastante usada es agruparlos en ocho grupos:

1. **Microorganismos patógenos:** Son los diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades como el cólera, tifus, gastroenteritis diversas, hepatitis, etc. En los países en vías de desarrollo las enfermedades producidas por estos patógenos son uno de los motivos más importantes de muerte prematura, sobre todo de niños. Normalmente estos microbios llegan al agua en las heces y otros restos orgánicos que producen las personas infectadas. Por esto, un buen índice para medir la salubridad de las aguas, en lo que se refiere a estos microorganismos, es el número de bacterias coliformes presentes en el agua. La OMS (Organización Mundial de la Salud) recomienda que en el agua para beber halla cero colonias de coliformes por 100 ml de agua.
2. **Desechos orgánicos:** Son el conjunto de residuos orgánicos producidos por los seres humanos, ganado, etc. Incluyen heces y otros materiales que pueden ser descompuestos por bacterias aeróbicas, es decir en procesos con consumo de oxígeno. Cuando este tipo de desechos se encuentran en exceso, la proliferación de bacterias agota el oxígeno, y ya no pueden vivir en esta agua los peces y otros seres vivos que necesitan oxígeno. Buenos índices para medir la contaminación por desechos orgánicos son la cantidad de oxígeno disuelto, OD, en agua, o la DBO (Demanda Bioquímica de oxígeno).
3. **Sustancias químicas inorgánicas:** En este grupo están incluidos ácidos, sales y metales tóxicos como el mercurio y el plomo. Si están en cantidades altas pueden causar graves daños a los seres vivos, disminuir los rendimientos agrícolas y corroer los equipos que se usan para trabajar con el agua.
4. **Nutrientes vegetales inorgánicos:** Nitratos y fosfatos son sustancias solubles en agua que las plantas necesitan para su desarrollo, pero si se encuentran en cantidad excesiva inducen el crecimiento desmesurado de algas y otros organismos provocando la eutrofización de las aguas. Cuando estas algas y otros vegetales mueren, al ser descompuestos por los microorganismos, se agota el oxígeno y se hace imposible la vida de otros seres vivos. El resultado es un agua maloliente e inutilizable.
5. **Compuestos orgánicos:** Muchas moléculas orgánicas como petróleo, gasolina, plásticos, plaguicidas, disolventes, detergentes, etc. acaban en el agua y permanecen, en algunos casos, largos períodos de tiempo, porque, al ser productos fabricados por el hombre, tienen estructuras moleculares complejas difíciles de degradar por los microorganismos.
6. **Sedimentos y materiales suspendidos:** Muchas partículas arrancadas del suelo y arrastradas a las aguas, junto con otros materiales que hay en suspensión en las aguas, son, en términos de masa total, la mayor fuente de contaminación del agua. La turbidez que provocan en el agua dificulta la vida de algunos organismos, y los sedimentos que se van acumulando destruyen sitios de alimentación o desove de los peces, rellenan lagos o pantanos y obstruyen canales, ríos y puertos.

7. **Sustancias radiactivas:** Isótopos radiactivos solubles pueden estar presentes en el agua y, a veces, se pueden ir acumulando a lo largo de las cadenas tróficas, alcanzando concentraciones considerablemente más altas en algunos tejidos vivos que las que tenían en el agua.

8. **Contaminación térmica:** El agua caliente liberada por centrales de energía o procesos industriales eleva, en ocasiones, la temperatura de ríos o embalses con lo que disminuye su capacidad de contener oxígeno y afecta a la vida de los organismos.

1.7.5 Disposición y Tratamiento de los Residuos Líquidos en Colombia

En Colombia, la contaminación de las fuentes hídricas por los residuos líquidos corresponde a los sectores domésticos, industriales y agropecuarios; de acuerdo con muestreos realizados en las principales ciudades del país, la concentración de coliformes en los cuerpos de agua superficial provenientes de los residuos líquidos domésticos, alcanza cifras del orden de 2.400 NMP/100 ml. Estos sectores producen aproximadamente 9.200 toneladas diarias de materia orgánica contaminante, de los cuales 1.500 toneladas son de origen doméstico, 500 de origen industrial y 7.200 agropecuario, que descargan cerca de 4.500.000 metros cúbicos de aguas residuales. Observando las altas cantidades de residuos y suponiendo que todas las cabeceras municipales contaran con plantas de tratamiento, la carga orgánica solamente se disminuiría en un 25%.

De otro lado, en materia de tratamiento de aguas residuales domésticas, la infraestructura disponible tiene un cubrimiento efectivo del 4% de la población urbana; actualmente, están en ejecución proyectos en las ciudades de Bogotá, Cali y Medellín y se encuentran en proceso de financiación los proyectos de Pereira, Cartagena y Barranquilla.

El mayor problema asociado con la contaminación hídrica, es la descarga de compuestos tóxicos y patógenos, particularmente a los ríos y acuíferos que sirven como abastecimiento de agua potable, irrigación de cultivos y recreación. En este sentido, recientemente en el país se inició la cultura del tratamiento de aguas residuales domésticas como resultado de la expedición de la reglamentación del cobro de las tasas retributivas. Para las aguas residuales industriales, el tratamiento se debe realizar antes de la descarga final a los alcantarillados o a los cuerpos receptores, con tecnologías apropiadas a dichos residuos.

En el país el número de plantas de tratamiento de aguas residuales construidas, alcanza las 190 unidades localizadas en 131 cabeceras urbanas correspondiendo al 12% de los municipios del país, aplicando diferentes tecnologías así:

Tabla N° 8. Distribución de Tecnologías de Tratamiento de Aguas Residuales

| Tecnologías del Proceso | Cantidad | Porcentaje % |
|----------------------------------|-----------------|---------------------|
| Lagunas (aeróbicas/ anaeróbicas) | 105 | 55.0 |
| Lodos activados (aeróbicos) | 43 | 22.5 |
| Filtros percoladores (aeróbicos) | 24 | 13.0 |
| Sistemas UASB (anaeróbicos) | 17 | 9.0 |
| Sistema operativo primario | 1 | 0.5 |
| Total | 190 | 100 |

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente 1998

Como se puede observar la tecnología más utilizada son lagunas de estabilización, alcanzando 105 unidades, en menor escala lodos activados, filtros percoladores y sistemas UASB.

Adicionalmente, existen tecnologías para el tratamiento de aguas domésticas, la mayoría basadas en procesos biológicos; el tratamiento más sencillo corresponde a pozos sépticos que son empleados en la zona rural y pequeños centros nucleados con poblaciones inferiores a 300 habitantes.

Para el estimativo del caudal de aguas residuales generadas, se tomó la población atendida por el servicio de acueducto y una dotación de retorno de 160 Lts/hab-día; para el caudal de aguas residuales recolectadas, la población utilizada corresponde a la servida por el servicio de alcantarillado y finalmente, el caudal de aguas tratadas corresponde a la población de los municipios con planta de tratamiento asumiendo que tratan el 44% de lo recolectado.

Las principales conclusiones del estudio realizado para el Ministerio del Medio Ambiente con relación a los aspectos técnicos, de la muestra estudiada son:

- Es mayor la densidad de plantas construidas en climas cálidos y zonas planas, que en la zona andina montañosa donde la recuperación de las fuentes receptoras es más acelerada.
- La eficiencia de los sistemas puede ser mejorada una vez se optimicen las plantas construidas, mediante inversiones relativamente bajas, para integrarlas al mejoramiento progresivo de las aguas tratadas.
- Las tecnologías seleccionadas representan de alguna forma las épocas en las que fueron construidas, con una tendencia marcada a procesos de bajos costos de inversión y de operación como las lagunas de oxidación.
- Existen pocas acciones de seguimiento y control para la determinación de la eficiencia real de los procesos que se desarrollan en las plantas construidas.

1.8. TIPOS DE AGUAS RESIDUALES

Por lo general las aguas residuales provienen de fuentes domésticas e industriales y pueden incluir la escorrentía.

1.8.1 Aguas Residuales Domésticas

Las aguas residuales domésticas provienen de áreas residenciales (incluyen residuos provenientes de cocinas, baños, lavado de ropa y drenaje de pisos) y comerciales, incluidas las instituciones y zonas recreativas. Estas normalmente se recogen en un sistema de alcantarillado público.

La cantidad de aguas residuales domiciliarias (sanitarias) por lo común se determina a partir del uso del agua y se conoce que sólo el 70% al 90% del agua suministrada llega a las alcantarillas.

1.8.3 Agua Pluvial

El desagüe de la precipitación pluvial de la difusión de la nieve y del lavado de las calles está menos contaminado que las aguas domiciliarias e industriales, razón por la cual recibe poco o ningún tratamiento antes de su descarga a los colectores de agua lluvia.

La cantidad de desagüe de aguas pluviales de un municipio varía en gran medida con la época del año, el tipo de terreno y la intensidad y duración de las tormentas que se producen.

1.9. SISTEMAS DE ALCANTARILLADOS SEPARADO Y COMBINADO

En los sistemas separados, las aguas pluviales y las residenciales son conducidas por drenajes y alcantarillado sanitario, respectivamente. Los sistemas de alcantarillado combinado transportan aguas residuales y pluviales por el mismo conducto. El alcantarillado sanitario y combinado están cerrados a fin de reducir los riesgos para la salud pública. Los sistemas separados requieren inversión, operación y mantenimiento de las dos redes. Sin embargo, permiten el diseño de alcantarillado sanitario y de la planta de tratamiento en relación con los flujos picos bajos. Además, a la planta de tratamiento ingresan aguas residuales más constantes y concentradas, lo que favorece el desempeño fiable y uniforme de los procesos. Por consiguiente, incluso en los países con clima moderado, donde el patrón de lluvias favorecería el alcantarillado combinado, las áreas residenciales que se construyen están provistas de alcantarillado separado. El alcantarillado combinado es, por lo general, al menos apropiado para los países en vías de desarrollo por las siguientes razones:

- El alcantarillado y el tratamiento son comparativamente costosos, especialmente en las regiones con alta intensidad pluvial durante periodos cortos del año.

- Requiere inversión simultánea para el drenaje, alcantarillado y tratamiento.
- Por lo general, no hay control de la erosión en las áreas no pavimentadas.

El alcantarillado combinado es el más apropiado para las regiones más industrializadas que tienen un desarrollo urbano gradual, un patrón regular de precipitación durante el año y control de la erosión del suelo por el pavimento.

La ventaja del alcantarillado combinado es que la primera parte de la esorrentía, que suele tener alta contaminación, se trata junto con las aguas residuales. Por lo general las plantas de tratamiento de aguas residuales tienen que ser diseñadas para recibir de dos a cinco veces la tasa promedio del flujo en tiempo seco, lo cual aumenta el costo y la complejidad del control de los procesos. La desventaja del alcantarillado combinado es que no se puede manejar flujos picos extremos y el rebose se descarga en el agua superficial, que se contamina con las aguas residuales diluídas. Este rebose puede crear problemas locales serios sobre la calidad del agua.

El alcantarillado sanitario sólo es factible en áreas densamente pobladas porque disminuye el costo unitario por vivienda. Aunque la mayoría de las alcantarillas públicas transportan sólo pequeñas cantidades de aguas residuales, el costo de construcción es alto porque requieren una profundidad mínima para protegerlas de las cargas provenientes del tránsito, una inclinación para asegurar la resuspensión y arrastre hidráulico del sedimento al final de la alcantarilla y un diámetro mínimo para evitar el bloqueo por materia fecal y otros sólidos.

1.10. CONTAMINACIÓN POR DESECHOS GRUESOS

La presencia de material grueso en las aguas residuales se debe a la disposición de basuras y escombros en el alcantarillado o por el arrastre de material erodado o escombros. Los volúmenes en que regularmente se presenta es de 3.5 – 37.5 ml/m³ y regularmente en Colombia se encuentran 15 ml/m³. Es necesario el controlar este tipo de contaminantes dentro de los sistemas de alcantarillado para mantener su buen funcionamiento de las tuberías y evitar su taponamiento, adicionalmente para evitar efectos sobre las bombas o tratamientos posteriores en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS PARÁMETROS PARA MEDIR LA CONTAMINACIÓN

2.1 CONTAMINANTES DE AGUAS RESIDUALES

Los contaminantes en el agua ya sean naturales o antropogénicos, pueden ser divididos en las siguientes categorías:

| | | |
|---------------------------|------------------|------------------------------------|
| 1. Naturales | <i>Ejemplos:</i> | Nitrato, fosfato |
| 2. Materia Orgánica | | Residuos domésticos o industriales |
| 3. Sustancias Indeseables | | Aceites |
| 4. Tóxicos | | Mercurio, fenoles, pesticidas |

Los nutrientes aceleran el crecimiento de organismos y pueden producir la eutrofización; la degradación de la materia orgánica puede consumir el suministro de oxígeno disuelto vital en el agua (DBO, DQO). Como sustancias indeseables se catalogan aquellas que producen color en las aguas, aumentan su turbiedad, o cubren su superficie, sedimentos y orillas. Finalmente existen químicos que son específicamente dañinos para la vida acuática y otros organismos, incluyendo el hombre que puede llegar a estar en contacto con ellos o ingerirlos. Los contaminantes también pueden alterar el pH de las aguas e impartirle olores y sabores indeseables. Debido a que no puede ser cuantificado, algunos científicos niegan la calidad estética del agua y otras formas de daño ambiental, ya que este es el aspecto de deterioro ambiental más obvio para el público en general.

Además de ser contaminada químicamente el agua puede ser térmicamente afectada y esta forma de contaminación puede traer consecuencias químicas desastrosas tales como la reducción de oxígeno disuelto.

Algunas actividades humanas son notoriamente serios contaminantes del agua. Examinaremos algunas de estas actividades rápidamente tales como desechos industriales, producción de pulpa y papel, drenaje de ácido de minas, detergentes y finalmente aguas negras.

Las aguas residuales se caracterizan por su composición física, química y biológica. Las principales propiedades físicas del agua residual así como sus principales constituyentes químicos y biológicos y su procedencia se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 9. Características Físicas, Químicas y Biológicas del Agua Residual y su Procedencia

| CARACTERÍSTICAS | PROCEDENCIA |
|---------------------------------|--|
| Propiedades físicas: | |
| Color | Agua residual doméstica e industrial, desintegración natural de materiales orgánicos. |
| Olor | Agua residual en descomposición, Vertidos industriales. |
| Sólidos | Agua de suministro, aguas residuales, domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas. |
| Temperatura | Aguas residuales domésticas e industriales. |
| Constituyentes Químicos | |
| <i>ORGÁNICOS:</i> | |
| Carbohidratos | Aguas residuales, comerciales e industriales. |
| Grasas animales, aceite y grasa | Agua residual doméstica, comercial e industriales. |
| Pesticidas | Residuos agrícolas. |
| Fenoles | vertidos industriales. |
| Proteínas | Aguas residuales domésticas y comerciales. |
| Agentes tensoactivos | Aguas residuales domésticas e industriales. |
| Otros | Desintegración natural de materiales orgánicos. |
| <i>INORGÁNICOS:</i> | |
| Alcalinidad | Aguas residuales doméstica, agua de suministro, infiltración de agua subterránea. |
| Cloruros | Agua de suministro, aguas residuales domésticas, infiltración del agua subterránea, ablandadores de agua. |
| Metales pesados | Vertidos industriales |
| Nitrógeno | Aguas residuales domésticas y residuos agrícolas. |
| pH | Vertidos industriales |
| Fósforo | Aguas residuales domésticas e industriales, escurritia residual. |
| Azufre | Aguas de suministro, aguas residuales domésticas e industriales. |
| Compuestos tóxicos | Vertidos industriales. |

CARACTERÍSTICAS
PROCEDENCIA
GASES:

| | |
|----------------------|--|
| Sulfuro de hidrógeno | Descomposición de aguas residuales domésticas |
| Metano | Descomposición de aguas residuales domésticas. |
| Oxígeno | Agua de suministro, infiltración del agua superficial. |

Constituyentes biológicos

| | |
|-----------|--|
| Animales | Cursos de agua y plantas de tratamiento. |
| Plantas | Cursos de agua y plantas de tratamiento. |
| Protistas | Aguas residuales domésticas, plantas de tratamiento. |
| Virus | Aguas residuales domésticas. |

Los contaminantes de interés en el tratamiento del agua residual se incluyen en la Tabla siguiente (Tabla 10). Las normas que regulan los tratamientos secundarios están basadas en las tasas de eliminación de la materia orgánica, sólidos en suspensión y patógenos presentes en el agua residual. Gran parte de la normatividad, incluye el control de la eliminación de nutrientes y de los contaminantes prioritarios. Cuando se pretende reutilizar el agua residual, las exigencias incluyen también la eliminación de compuestos orgánicos refractarios, metales pesados y algunas veces sólidos inorgánicos disueltos.

Tabla 10. Contaminantes de Importancia en el Tratamiento del Agua Residual.

| CONTAMINANTES | RAZÓN DE LA IMPORTANCIA |
|-----------------------|--|
| Sólidos en suspensión | Pueden conducir al desarrollo de depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático. |
| M. O. Biodegradable | Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasas animales. La materia orgánica mide, la mayoría de las veces, en términos de DBO (Demanda Bioquímica de Oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno). Si se descargan al entorno sin tratar, su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas. |

| CONTAMINANTES | RAZÓN DE LA IMPORTANCIA |
|-------------------------------|---|
| Patógenos | Los presentes en el agua residual pueden transmitir enfermedades infecto contagiosas. |
| Nutrientes | <p>Tanto el Nitrógeno como el Fósforo, junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten en el entorno acuático, estos nutrientes pueden llevar el crecimiento de una vida acuática no deseada.</p> <p>Cuando se vierten en el terreno en cantidades excesivas, también pueden conducir a la contaminación del agua subterránea.</p> |
| M.O. Refractaria | Tiende a revestir los métodos convencionales de tratamiento. Ej: agentes termoactivos, fenoles y pesticidas agrícolas. |
| Metales Pesados | Son añadidos frecuentemente al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales, y puede que deban ser eliminados si se va a reutilizar el agua residual. |
| Sólidos inorgánicos disueltos | Los constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio y los sulfatos se añaden al agua de suministro como resultado del uso del agua y puede que deban eliminarse si se va a reutilizar el agua residual. |

2.2 PARÁMETROS DE CONTROL PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El componente orgánico de las muestras de aguas residuales es estimado generalmente en términos de las demandas de oxígeno utilizando la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), la Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Demanda Total de Oxígeno (DTO) o en términos del Carbono Orgánico Total (COT). En la caracterización de las aguas residuales, de acuerdo con la industria es necesario el análisis de otros compuestos orgánicos como son ácidos orgánicos, alcoholes, aldehídos, fenoles y aceites específicamente en la industria petroquímica.

La caracterización inorgánica debe incluir pruebas que suministren información sobre la toxicidad potencial del desecho (tales como metales pesados y amoníaco), los contaminantes que requieran un tratamiento específico (como acidez o alcalinidad, pH y sólidos en suspensión), la evaluación de nutrientes (nitrógeno o fósforo) y sustancias interferentes o inhibidoras (como cloruros o sulfatos). Se debe reconocer que este formato analítico no es aplicable a todas las situaciones. Sin embargo, se intentará considerar los principales parámetros orgánicos en un sentido interpretativo, enfatizando la relación entre la caracterización del agua residual y su tratabilidad.

2.3 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)

La DBO, la cual es un estimativo de la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar los materiales orgánicos biodegradables por una población heterogénea de microorganismos, es un parámetro no bien definido que ha sido utilizado por muchos años al asignar una demanda de oxígeno a las aguas residuales.

La prueba de laboratorio está influenciada por muchas variables y limitaciones como son:

- a) Aclimatación de la semilla
- b) La temperatura y el pH
- c) La presencia de compuestos tóxicos
- d) El tiempo de incubación
- e) Nitrificación

* **Aclimatación de la Semilla.** El uso de una semilla biológica que no este aclimatada al agua residual es un factor muy común responsable de resultados erróneos de DBO. La semilla a utilizar en esta prueba debe ser preparada en un reactor continuo a escala de laboratorio alimentado con disoluciones del desecho. La composición del desecho puede ser incrementada y se considera la semilla como aclimatada una vez que la remoción de orgánicos y el oxígeno alcanzan un nivel máximo y llegan a estabilizarse.

* **Temperatura y pH.** Los resultados de la DBO pueden ser afectados si el pH de la muestra es menor de 6,5 o mayor de 8,3 unidades. Aunque la DBO se lleva a cabo a una temperatura estándar de 20 °C, las condiciones del campo necesitan la incubación a otras temperaturas. Se requiere entonces un factor de corrección para compensar la diferencia de temperatura.

* **Toxicidad.** La presencia de sustancias tóxicas en una muestra de agua residual puede tener un efecto biotóxico o bioestático sobre la semilla de microorganismos. Este efecto se manifiesta por disminución de los valores de DBO donde el resultado de la DBO aumenta con el aumento de la dilución de la muestra. Una vez se detecte la presencia de materiales tóxicos se debe tomar medidas para identificarlos y removerlos o usar diluciones donde los resultados de la DBO den valores consistentes.

* **Tiempo de incubación.** La importancia de la variable de tiempo de incubación es indicada en la ecuación básica de la DBO. El tiempo de incubación usual es de 5 días, aunque el tiempo usual requerido para la completa estabilización ocurre (DBO última) dependiendo de la biodegradabilidad de los compuestos presentes y la capacidad depuradora de los microorganismos.

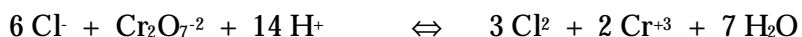
* **Nitrificación.** Aunque algo de nitrificación ocurre a través del período de incubación, un efecto de dos etapas es generalmente observado. Esto resulta del hecho de que las constantes de velocidad de nitrificación son mucho más bajas que las de la demanda carbonácea y la demanda nitrificante no se inicia hasta que la demanda carbonácea este completamente satisfecha. La medida de la demanda de oxígeno ejercida por la fracción carbonácea del desecho puede ser medida retardando el proceso de nitrificación en la botella adicionando inhibidores de la nitrificación o dejando que ella ocurra y sustraerla de la demanda total.

2.4 DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO (DQO)

La DQO mide el oxígeno equivalente de sustancias orgánicas e inorgánicas en una muestra acuosa que es susceptible a la oxidación por dicromato de potasio en una solución de ácido sulfúrico. Este parámetro ha sido usado por más de un cuarto de siglo para estimar en contenido de orgánicos en aguas y aguas residuales. Sin embargo, la correcta interpretación de los valores de DQO puede presentar problemas por lo cual se debe entonces, entender las variables que afectan los resultados de este parámetro.

Generalmente, se podría esperar que la DBO última del agua residual se aproximara a la DQO. Sin embargo, existen muchos factores que afectan estos resultados especialmente en desechos industriales complejos. Estos factores son los siguientes:

- 1) Muchos compuestos orgánicos que son oxidables por el dicromato no son bioquímicamente oxidables.
- 2) Ciertas sustancias inorgánicas, tales como sulfuros, sulfatos, tiosulfatos, nitritos y el ión ferroso son oxidados por el dicromato, creando una DQO inorgánica, lo cual entorpece los datos cuando la DQO se mide como el contenido de materia orgánica en un agua residual.
- 3) Los resultados de la DBO pueden ser afectados por pérdida de semilla por aclimatación dando resultados erróneos. Los resultados de DQO son independientes de esta variable.
- 4) Los cloruros interfieren en el análisis de la DQO. Se puede obtener lecturas más altas resultantes de la oxidación de cloruros por dicromato:



Esta interferencia puede ser eliminada por la adición de HgSO_4 a la mezcla porque el Hg^{+2} se combina con el Cl^- para formar esencialmente HgCl_2 no ionizado:



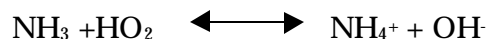
Como la presencia de Ag^{+2} como catalizador es esencial para la oxidación de alcoholes y ácidos de cadena larga, si cantidades de Cl^- continúan en el medio pueden reaccionar con los iones cloruro formando un precipitado de AgCl :



que aporta lecturas erróneas de DQO.

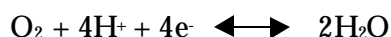
2.5 OXIDO - REDUCCIÓN

En las reacciones ácido base, ciertos compuestos son protones dadores (H^+) mientras que otros son protones captore, por ejemplo



Es decir, el amoníaco libre acepta un protón y se transforma a ión amonio. De forma análoga, las reacciones de oxido reducción implican donadores de electrones (e^-)b reductores y aceptores de electrones (oxidantes). Al no haber electrones libre en las soluciones acuosas, una reacción de oxidación siempre va acompañada de una reacción de reducción. Cuando la oxidación y la reducción tienen lugar en una sola ecuación, da lugar a la ecuación redox. Las ecuaciones individuales a veces se denominan semi - reacciones.

Reducción



Oxidación



Reacción redox



Los fenómenos de oxidación reducción son significativos en ingeniería ambiental en los campos del agua y del agua residual. La reducción del oxígeno mediante la materia orgánica en el agua se representa por:



Tal agotamiento de oxígeno (reducción) no es deseable, en particular en las aguas dulces que sostienen la vida de los peces. En el ciclo del nitrógeno, el NH_4^+ se oxida a NO_3^- en agua y esta representado por

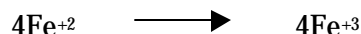


Un número de oxidación es la carga que un átomo de un elemento tiene o puede tener en un compuesto. Los fundamentos de los números o estados de oxidación son:

Un “número de oxidación” es la carga que un átomo de un elemento tiene o puede tener en un compuesto. Los fundamentos de los números o estados de oxidación son:

1. En los elementos libres, cada átomo tiene un número de oxidación cero.
2. En los iones simples, el número de oxidación es igual a la carga del ión.
3. Los halógenos tienen un número de oxidación de - 1.
4. En la mayoría de los compuestos, el oxígeno tiene un número de oxidación de - 2.
5. En la mayoría de los compuestos, el hidrógeno tiene un número de oxidación de + 1. En los hidruros es - 1.
6. En las moléculas neutras, el número de oxidación de todos los átomos resulta cero. En los iones complejos, el número de oxidación resulta la carga del ión.

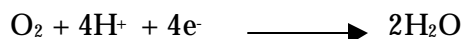
La “oxidación” se define como la “pérdida” de electrones en una sustancia. La oxidación tiene lugar si el estado de oxidación de la sustancia en el lado izquierdo de la ecuación de la reacción “aumenta” en el lado derecho, es decir,



Los típicos agentes oxidantes incluyen:

- Los elementos no-metálicos, que aceptan electrones para formar aniones, por ejemplo Br_2 , Cl_2 , I_2 , O_2 .
- Los cationes metálicos, que aceptan electrones para formar moléculas neutras como las utilizadas en la electro-industria, por ejemplo, Cu^{2+} , Al^{3+} , Ag^+ , Au^+ .
- Los iones con un elemento de número de oxidación alta, por ejemplo, MnO_4^- , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$.

La “reducción” se define como la “ganancia” de electrones de una sustancia. La reducción tiene lugar si el estado de oxidación de la sustancia en el lado izquierdo de la ecuación de la reacción “disminuye” en el lado derecho, es decir,



Aplicación de las reacciones de oxidación – reducción

Algunas de las aplicaciones de las reacciones redox más comunes en ingeniería ambiental son:

- La solubilización y la precipitación del hierro y del manganeso, particularmente en el tratamiento de aguas subterráneas para ser utilizadas por los municipios y las industrias farmacéuticas y de bebidas.
- La utilización del cloro y del ozono como oxidantes en el tratamiento de agua residual para la desinfección bacteriana.

- En el tratamiento del agua residual, la eliminación del nitrógeno mediante la nitrificación bien biológica o químicamente.
- En los digestores anaerobios de agua residual/lodos que producen metano/
- En las plantas de tratamiento de agua residual municipal e industrial, la oxidación de sustancias orgánicas, caracterizadas por las reducciones de la DBO o la DQO.
- La corrosión de los metales.

Cada reacción está caracterizada por un potencial redox que se calcula a partir de la ecuación de Nerst:

$$E_h = E_o + (RT / nF) \ln (\text{especies oxidadas/especies reducidas})$$

E_h = potencial redox en el equilibrio, voltios

E_o = potencial de reducción estándar a pH = 0, 25 °C y 1 atmósfera = 1.23 V y $E_o = E_h$ cuando $[Ox] = [Red]$

R = constante del gas, 8.314 J/mol K°

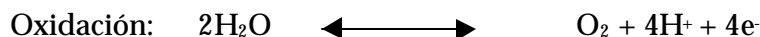
T = temperatura absoluta, K°

n = número de electrones transferidos

F = constante de Faraday, 96.487 c/mol

Para una sustancia que se ha oxidado/reducido, E_h es una medida del potencial. El rango de E_h en el medio natural es de 0.6 V (completamente oxidado) a -0.8 (intensamente reducido). Las aguas de superficie tienen un rango de E_h desde 0.2 a +0.5 V.

Se considera la redox del agua:



De acuerdo con la ecuación de la reducción del agua, los iones de hidrógeno se liberan cuando el agua se oxida, cambiando por ello la concentración del ión hidrógeno $[H^+]$ del agua, es decir, el pH cambia. El rango característico del pH en las aguas naturales es de 4 a 9. Esto se determina mediante los componentes del sistema carbonato: CO_2 , HCO_3^- y CO_3^{2-} . Son raros los valores de pH menores a 4 aunque se pueden presentar debido a la oxidación de los minerales de azufre. De igual forma es raro encontrar un pH mayor a 9 y los medios alcalinos son posiblemente debido al carbonato sódico

2.6 SÓLIDOS

El contenido de sólidos del agua es uno de los parámetros más significativos. La cantidad, el tamaño y el tipo dependen del agua específica. Por ejemplo, un agua residual fecal no tratada puede tener materia de partícula orgánica, incluyendo trozos de comida en el rango de milímetros, mientras que un agua tratada puede tener partículas en el rango de

10-6 mm. Los sólidos se clasifican como: sólidos totales, sólidos en suspensión, sólidos totales disueltos, sólidos totales volátiles y sólidos volátiles en suspensión.

El contenido de sólidos de un agua afecta directamente la cantidad de lodos que se produce en el sistema de tratamiento o disposición. Se considera como sólidos totales de un agua el residuo de la evaporación y secado a 103 – 105 °C. Los sólidos sedimentables son una medida del volumen de sólidos asentados al fondo de un cono imhoff, en un período de una hora, y representan la cantidad de lodo removible por sedimentación simple; se expresan comúnmente en ml/l.

Los sólidos disueltos representan el material soluble y coloidal, el cual requiere usualmente para su remoción, oxidación biológica o coagulación y sedimentación. Los sólidos suspendidos o no disueltos constituyen la diferencia entre los sólidos totales de la muestra no filtrada y los sólidos de la muestra filtrada. En la práctica los sólidos disueltos son aquellos con tamaño menor a 1.2 μm , tamaño nominal de poros correspondiente a los filtros de fibra de vidrio usados para hacer la separación.

Los sólidos volátiles son, básicamente, la fracción orgánica de los sólidos o porción de los sólidos que se volatilizan a temperaturas de 550 ± 50 °C. Su determinación es muy importante en lodos activados, lodos crudos y lodos digeridos. El residuo de la calcinación se conoce como sólidos fijos y constituye la porción inorgánica o mineral de los sólidos.

En el tratamiento biológico de las aguas residuales se recomienda un límite de sólidos disueltos de 16000 mg/l.

2.7 GRASAS Y ACEITES

El contenido de grasas y aceites en los residuos domésticos, en algunos residuos industriales y en los lodos se debe considerar para su manipulación y tratamiento hasta la disposición final. Al aceite y la grasa se les concede especial atención por su escasa solubilidad en el agua y su tendencia a separarse de la fase acuosa. A pesar de que estas características son una ventaja para facilitar la separación del aceite y la grasa mediante el uso de sistemas de flotación, su presencia complica el transporte de los residuos por las tuberías, su eliminación en unidades de tratamiento biológico y su disposición en las aguas receptoras.

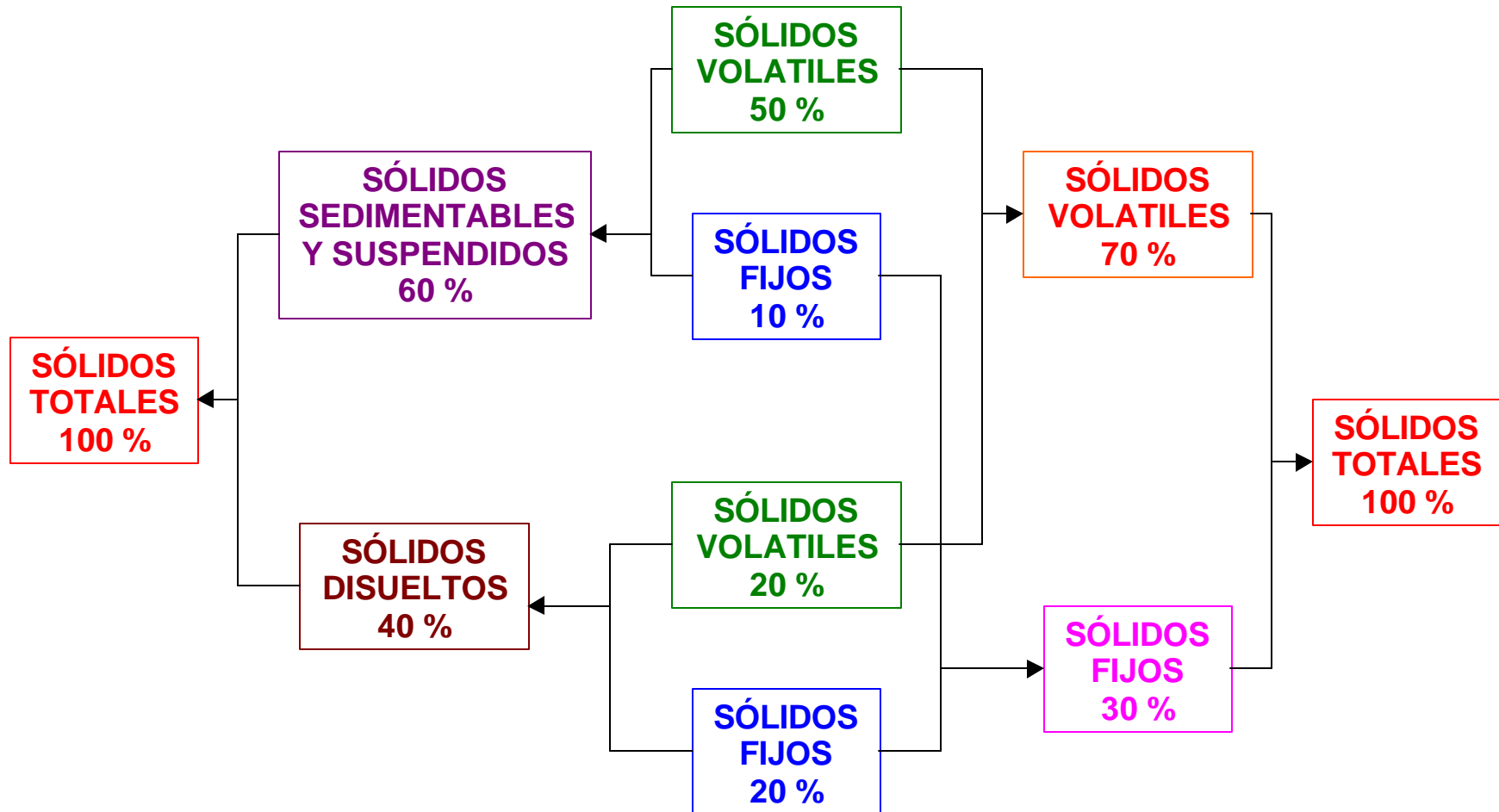
Los residuos de la industria del empaque de carnes, especialmente mataderos, disminuyen severamente la capacidad de transporte de las alcantarillas; estas situaciones han servido como base para establecer normas y reglamentos que controlan la descarga de los materiales grasos a los sistemas de alcantarillado o a las aguas receptoras, y han obligado a las instalaciones de equipo de tratamiento en muchas industrias para recuperar la grasa o el aceite antes de que se autorice el desagüe.

Las grasas y aceites han generado muchos problemas en el tratamiento de residuos. Muy pocas plantas tienen la posibilidad de separar estos materiales para su disposición en los sistemas de recolección de grasa o en los incineradores; en consecuencia, el residuo que se separa en forma de nata en los tanques de sedimentación primaria, normalmente es transferido a las unidades de disposición junto con los sólidos sedimentados. En los tanques de digestión de lodos, los aceites y grasas tienden a separarse y a flotar en la superficie para formar densas capas de natas, debido a su escasa solubilidad en el agua y a su bajo peso específico. Los problemas de estas capas son especialmente graves cuando los residuos de alto contenido en grasa llegan al alcantarillado público, por ejemplo, los del empaque de carnes y los de las industrias de grasas y aceites. La filtración al vacío del lodo también se complica por su alto contenido graso.

No todos los aceites y las grasas de las aguas servidas son removidos en unidades de sedimentación primaria, en las aguas residuales clarificadas quedan cantidades considerables, en forma de emulsión finamente dividida. Durante el ataque biológico subsiguiente que ocurre en las unidades de tratamiento secundario o en las corrientes receptoras, los agentes emulsificantes usualmente se destruyen y las partículas finamente divididas de grasas y aceite se unen libremente en partículas más grandes que se separan del agua. En las plantas de lodos activados, la grasa por lo general se acumula en “globos de grasa” que dan un aspecto antiestético a la superficie de los tanques de sedimentación final. Los filtros percoladores y los procesos de lodos activados son afectados adversamente por las excesivas cantidades de grasa que envuelven las formas biológicas lo suficiente para interferir con la transferencia de oxígeno del líquido al interior de las células vivientes. Este fenómeno se describe algunas veces como acción “asfixiante”.

La separación de la grasa flotante en los tanques de sedimentación final ha sido un problema en algunas plantas de tratamiento que ejecutan los procesos a alta velocidad. Esto se ha atribuido al escaso tiempo de contacto del residuo con las limitadas cantidades de cúmulos biológicos que destruyen los agentes emulsificantes presentes, pero que no tienen suficiente capacidad de adsorción para retener la grasa que se libera, ni tiempo para oxidarla. Como resultado, en condiciones de quietud, la grasa se libera libremente, como ocurre en los tanques de sedimentación final o en las aguas receptoras.

COMPOSICIÓN DE LOS SÓLIDOS EN LAS AGUAS RESIDUALES



2.8 NITRÓGENO

Los organismos emplean el nitrógeno en la síntesis de **proteínas, ácidos nucleicos** (ADN y ARN) y otras moléculas fundamentales del metabolismo. Su **reserva** fundamental en la atmósfera, en donde se encuentra en forma de N_2 , pero esta molécula no puede ser utilizada directamente por la mayoría de los seres vivos (exceptuando algunas bacterias). Esas bacterias y algas cianofíceas que pueden usar el N_2 del aire juegan un papel muy importante en el ciclo de este elemento al hacer la **fijación del nitrógeno**. De esta forma convierten el N_2 en otras formas químicas (nitratos y amonio) asimilables por las plantas. El amonio (NH_4^+) y el nitrato (NO_3^-) lo pueden tomar las plantas por las raíces y usarlo en su metabolismo. Usan esos átomos de N para la síntesis de las proteínas y ácidos nucleicos. Los animales obtienen su nitrógeno al comer a las plantas o a otros animales.

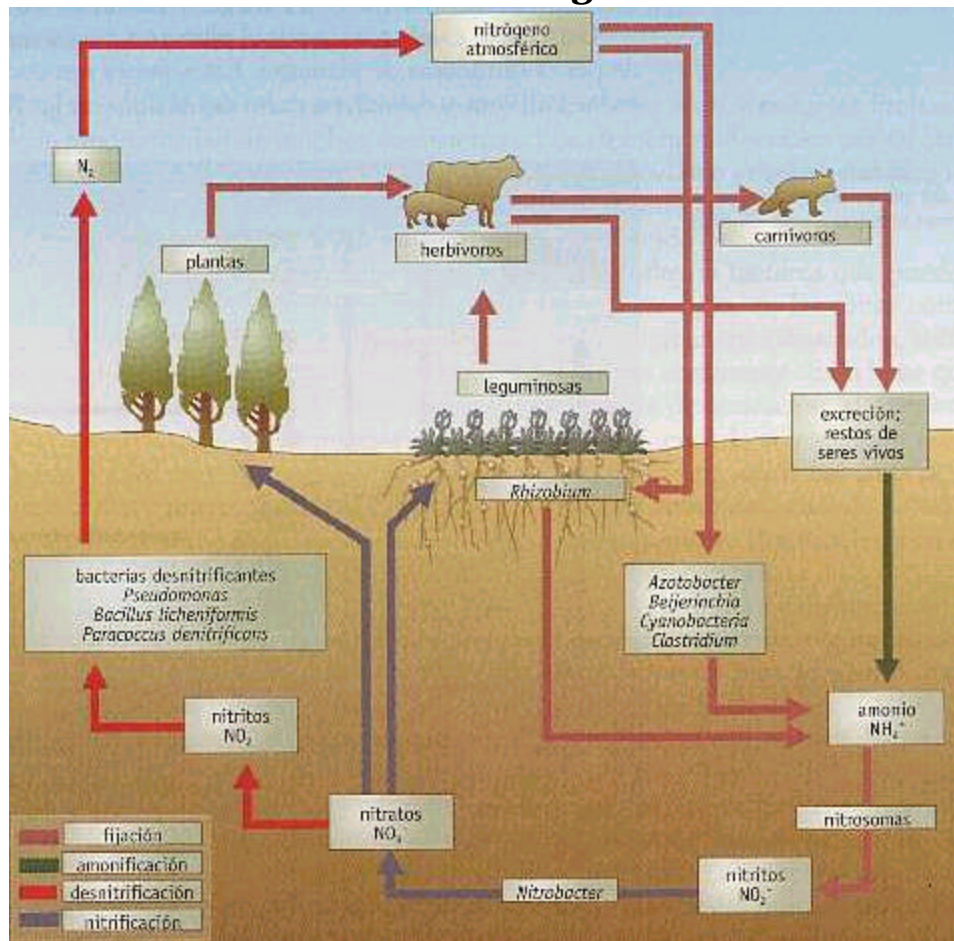
En el metabolismo de los compuestos nitrogenados en los animales acaba formándose ión amonio que es muy tóxico y debe ser eliminado. Esta **eliminación** se hace en forma de amoniaco (algunos peces y organismos acuáticos), o en forma de urea (el hombre y otros mamíferos) o en forma de ácido úrico (aves y otros animales de zonas secas). Estos compuestos van a la tierra o al agua de donde pueden tomarlos de nuevo las plantas o ser usados por algunas bacterias.

Algunas **bacterias** convierten amoniaco en nitrito y otras transforman este en nitrato. Una de estas bacterias (*Rhizobium*) se aloja en nódulos de las raíces de las leguminosas (alfalfa, alubia, etc.) y por eso esta clase de plantas son tan interesantes para hacer un abonado natural de los suelos.

Donde existe un exceso de materia orgánica en el mantillo, en condiciones anaerobias, hay otras bacterias que producen desnitrificación, convirtiendo los compuestos de N en N_2 , lo que hace que se pierda de nuevo nitrógeno del ecosistema a la atmósfera.

A pesar de este ciclo, el N suele ser uno de los elementos que **escasean** y que es factor limitante de la productividad de muchos ecosistemas. Tradicionalmente se han abonado los suelos con nitratos para mejorar los rendimientos agrícolas. Desde que se consiguió la síntesis artificial de amoniaco por el proceso Haber fue posible fabricar abonos nitrogenados que se emplean actualmente en grandes cantidades en la agricultura. Como veremos su mal uso produce, a veces, problemas de contaminación en las aguas: la eutroficación.

Ciclo del Nitrógeno



2.9 FÓSFORO

El fósforo es un componente esencial de los organismos. Forma parte de los **ácidos nucleicos** (ADN y ARN); del **ATP** y de otras moléculas que tienen PO_4^{3-} y que almacenan la energía química; de los **fosfolípidos** que forman las membranas celulares; y de los **huesos** y **dientes** de los animales. Está en pequeñas cantidades en las plantas, en proporciones de un 0,2%, aproximadamente. En los animales hasta el 1% de su masa puede ser fósforo.

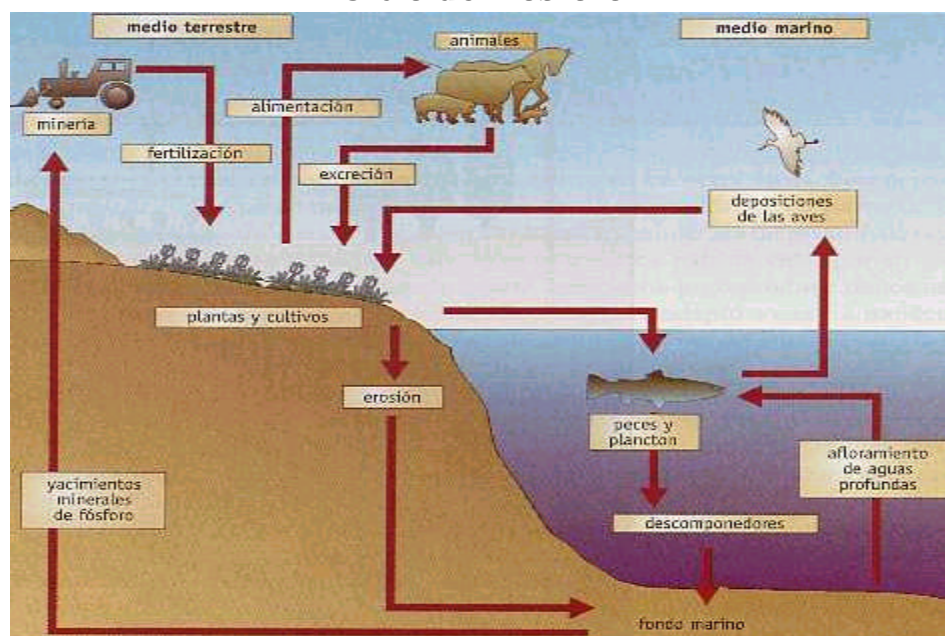
Su **reserva** fundamental en la naturaleza es la corteza terrestre. Por meteorización de las rocas o sacado por las cenizas volcánicas, queda disponible para que lo puedan tomar las plantas. Con facilidad es arrastrado por las aguas y llega al mar. Parte del que es arrastrado sedimenta al fondo del mar y forma rocas que tardarán millones de años en volver a emerger y liberar de nuevo las sales de fósforo. Otra parte es absorbida por el plancton que, a su vez, es comido por organismos filtradores de plancton, como algunas

especies de peces. Cuando estos peces son comidos por aves que tienen sus nidos en tierra, devuelven parte del fósforo en las heces a tierra.

Es el principal **factor limitante** en los ecosistemas acuáticos y en los lugares en los que las corrientes marinas suben del fondo, arrastrando fósforo del que se ha ido sedimentando, el plancton prolifera en la superficie. Al haber tanto alimento se multiplican los bancos de peces, formándose las grandes pesquerías del Gran Sol, costas occidentales de África y América del Sur y otras.

Con los compuestos de fósforo que se recogen directamente de los grandes depósitos acumulados en algunos lugares de la tierra se abonan los terrenos de cultivo, a veces en cantidades desmesuradas, originándose problemas de eutrofización.

Ciclo del Fósforo



2.10 pH

Una medida convencional de la acidez o basicidad de soluciones acuosas es el llamado pH. Por definición el pH de una solución es igual al logaritmo negativo de la concentración de los iones hidronio (H_3O^+) en la solución.

$$pH = -\log [H_3O^+]$$

En el agua la concentración de los iones hidronio es de 1.0×10^{-7} a $25^\circ C$. El pH del agua pura será:

$$pH = -\log 1.0 \times 10^{-7} = 7.0$$

Cuando en el agua se disuelven sustancias ácidas se originan soluciones ácidas cuyas características es que su concentración de iones hidronio es mayor que 1.0×10^{-7} y su pH es menor que 7.0. las sustancias ácidas siempre proporcionan protones H^+ al agua generando iones hidronio y aumentando así su concentración por encima de $1.0 \times 10^{-7} M$.

El pH de la mayoría de las aguas naturales esta entre 6 - 9 unidades. El pH permanece razonablemente constante a menos que la calidad de agua cambie debido a las influencias de tipo natural o antropogénicas, aumentando la acidez o la basicidad.

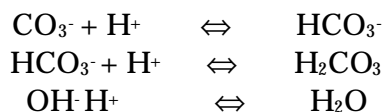
Como la mayor parte las formas de vida ecológicas son sensibles a los cambios de pH es importante que el impacto antropogénico (por ejemplo, las descargas de efluentes) se han minimizado un afluente con un pH demasiado alejado del rango aceptable 6 - 8 puede matar la colonia activa microbiología. Por lo cual es importante mantener el control de pH de los sistemas biológicos de tratamiento de aguas residuales dentro de un rango específico.

En el tratamiento de aguas para potabilización, se ve que la adición de alumbre como coagulante reduce el pH, el cual debe ser corregido por la adición de cal ($CaCO_3$). Como tal el pH es un parámetro clave en aspectos numerosos de la ingeniería ambiental.

2.11 ALCALINIDAD

Alcalinidad es una medida de la capacidad que tiene el agua para absorber iones hidrógeno sin tener un cambio significativo en su pH (capacidad para neutralizar ácidos). Las sustancias que le imparten alcalinidad al agua son fundamentalmente, los carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos. Algunos otros materiales también le imparten alcalinidad a el agua, como son los silicatos, boratos y fosfatos, pero su contenido en las aguas naturales es generalmente insignificante y su efecto puede ignorarse.

Esta propiedad amortiguadora que permite que las aguas reciban sustancias ácidas sin sufrir cambios fuertes en su pH, debido a la presencia de los CO_3^{2-} , HCO_3^- , e OH^- se explica al observar las reacciones que se llevan a cabo.



Es decir, los CO_3^{2-} , HCO_3^- , OH^- , reaccionan o absorben los iones H^+ para constituir otras moléculas que no le dan acidez a el agua, puesto que el hidrógeno no se encuentra en su forma iónica.

La alcalinidad es de importancia en muchos usos y tratamientos de agua natural y aguas residuales. Para determinar si el agua es adecuada para irrigación debe considerarse su alcalinidad en relación con la del suelo. Este concepto también tiene aplicación en los

tratamientos químicos del agua de coagulación y ablandamiento, en general la capacidad amortiguadora del agua es de gran interés en la práctica del tratamiento de aguas residuales.

La alcalinidad excesiva no produce efectos nocivos en la salud de los consumidores, pero sí le imparte un sabor desagradable al agua, que puede causar que sea rechazada. La Secretaría de Salubridad y Asistencia fija como máximo admisible una alcalinidad total de 400 mg/l CaCO_3 .

2-12 AGENTES TÓXICOS

2.12.1 Pesticidas

Algunas de las técnicas actuales, por ejemplo el monocultivo, favorecen la propagación de las plagas. En los monocultivos crece un solo tipo de planta en grandes extensiones de terreno y los organismos que se alimentan de esa planta se encuentran con una situación excelente para alimentarse de ella y aumentar la población. Además el campo del monocultivo es un ecosistema muy simple, con muy poca variedad de organismos, y no contiene, como le sucede al ecosistema natural, muchas más especies, algunas de las cuales mantienen controladas las plagas de forma natural.

Los pesticidas ayudan a combatir los daños causados por las plagas y son muy beneficiosos. Sin ellos no se podría haber dado el gran aumento de producción de alimentos de la llamada "**revolución verde**" que ha permitido alimentar, cada vez mejor, a una población mundial que ha ido creciendo continuamente. El uso de pesticidas se multiplicó por 32 de 1950 a 1986. Los países en vías de desarrollo también los han ido empleando cada vez más y, en la actualidad, consumen la cuarta parte de este tipo de productos.

Otra importante utilidad de los pesticidas ha sido la lucha contra **epidemias**, como el tifus o la malaria, transmitidas por insectos u otros parásitos humanos. Son enfermedades que afectan a una elevada proporción de la población; por ejemplo, se calcula que unos 100 millones de personas sufren de malaria en el mundo y que, gracias a los pesticidas, han disminuido de forma muy importante.

2.12.2 Peligros de los pesticidas

Los pesticidas tienen también sus riesgos, además de las importantes ventajas que hemos comentado. Si acaban con las plagas es porque son sustancias tóxicas, y su uso excesivo e inapropiado puede causar contaminación, tanto del ambiente como de los mismos alimentos y, en algunos casos, daños en la salud de los agricultores o de otras personas

El pesticida ideal debería tener lo que se llama "**acción restringida**", es decir ser un producto que matara al organismo que forma la plaga sin dañar a las otras especies. También debería ser de **rápida descomposición**, química o biológica, de forma que, cuanto antes, originara compuestos no peligrosos del tipo de agua, dióxido de carbono y oxígeno.

Para terminar, el perfecto pesticida tendría que **permanecer en el sitio** en el que se aplica, sin desplazarse a otros lugares.

2.12.3 Tipos de pesticidas

a) Insecticidas

Los insectos son los que más plagas ocasionan. Escarabajos, orugas, moscas y mosquitos, y muchos otros tipos de insectos causan grandes daños en las cosechas y transmiten enfermedades. Más de la mitad de los pesticidas son del grupo de los insecticidas.

- Los **organoclorados** (DDT, aldrin, endrin, lindano, etc.) son tóxicos, su persistencia en el ambiente sin ser destruidos llega a ser de años y se bioacumulan, es decir, van aumentando su concentración al ir ascendiendo en la cadena trófica.
- Los **organofosfatos** (malation, paration, etc.) son poco persistentes (días) y se eliminan en la orina. Muy tóxicos para el hombre, tanto como los más conocidos venenos como son el arsénico, la estricnina o el cianuro. Fueron desarrollados a partir del gas nervioso preparado por los alemanes en la 2ª Guerra Mundial. Se usan mucho en agricultura.
- Los **carbamatos** (por ejemplo el carbaril, de nombre comercial Servin; o el propoxur, llamado Baygon, etc.) son poco persistentes (días) y se eliminan en la orina. Son poco tóxicos para el hombre pero menos eficaces en su acción como pesticidas que los organofosfatos. Se usan menos en agricultura y más en interiores, como insecticidas caseros, etc.
- **El caso del DDT**

El caso del DDT resulta especialmente interesante de analizar por ser muy representativo de los pros y contras de los insecticidas, especialmente de los más antiguos. Algún autor ha llegado a titular su capítulo sobre este producto con el expresivo encabezamiento de "Una historia de beneficios olvidados y de ingratitud social"

Químicamente el DDT es el 2,2-bis-(p-clorofenil)-1,1,1-tricloroetano y fue el primero de los insecticidas de la 2ª generación. Había sido sintetizado en 1874 pero su uso como insecticida comenzó en 1939 cuando el químico suizo Müller descubrió sus propiedades como veneno para los insectos y su baja toxicidad para los humanos. Este científico recibió el Premio Nobel en 1948 en reconocimiento al impresionante avance

que este producto había representado en la lucha contra las enfermedades y las plagas. Se calcula que en los primeros años de uso del DDT se evitó la muerte de 5 millones de personas cada año, además de la protección de cosechas y del aniquilamiento de insectos domésticos. Así, por ejemplo, en la India, en 1952 hubo 75 millones de casos de malaria y en 1964, después de usar masivamente el DDT, 100.000 casos.

Pero conforme se fueron descubriendo algunos importantes problemas asociados a su uso, empezó a ser cada vez menos usado. La máxima producción de este insecticida se produjo en 1970 y a partir de entonces se fue prohibiendo su uso, cada vez en más países, y descendiendo su producción. El motivo de este declinar del favor social del DDT fueron los graves problemas que se detectaron. En primer lugar es un producto de lenta conversión a sustancias no tóxicas en la naturaleza, su persistencia media es de unos 3 años. Además es muy poco soluble en agua, lo que hace que no se elimine en la orina, y es muy soluble en grasas, por lo que se acumula en tejidos de los organismos. Por estos motivos se va acumulando a lo largo de la cadena trófica. Así, por ejemplo, el DDT que se extendía sobre un cultivo se encontraba en una concentración bajísima en las plantas; pero en los insectos que se alimentaban de estas plantas estaba ya en concentraciones diez veces mayores. Si el insecto resiste al DDT será comido por ranas, por ejemplo, en las que el DDT alcanzará concentraciones 100 veces mayores que las de las plantas; y las rapaces que comen a las ranas llegan a tener concentraciones 1000 veces mayores.

Uno de los principales efectos de estas concentraciones de DDT fueron sobre la reproducción de las aves, porque sus huevos tenían unas cáscaras extraordinariamente finas y frágiles y muchos se rompían durante la incubación. De esta forma las poblaciones de algunas especies de aves disminuyeron de forma alarmante.

Otro importante problema fue que muchos organismos desarrollaron resistencia y para luchar contra ellos había que emplear cantidades cada vez mayores del producto y con menor eficacia.

De ser un benefactor de la humanidad pasó a ser enemigo público entre los años 1970 a 80 y con ello llegó su prohibición. Aunque, afortunadamente, su desuso coincidió con el desarrollo de nuevos insecticidas con características mucho menos peligrosas.

2.12.4 Problemas en el uso de pesticidas

Es muy normal que cuando comienza a usarse un nuevo pesticida los resultados que se obtienen sean muy buenos y se consiga controlar las plagas con poca cantidad del producto. Pero al cabo de un cierto tiempo suelen empezar a surgir problemas que disminuyen la utilidad de ese producto y hacen necesario buscar nuevos plaguicidas. Este y otros problemas del uso de los pesticidas se analizan a continuación:

1.- Resistencia genética

La llamada resistencia genética se produce porque entre los muchos individuos que componen la población de una plaga algunos poseen genes que hacen que el pesticida no sea tóxico para ellos y estos individuos aguantan la acción del pesticida sin morir. Son precisamente estos que no han muerto los que tienen descendencia y forman las nuevas poblaciones de la plaga que heredan el gen de resistencia y la acción del pesticida contra ellas será mucho menor.

Como en los insectos y, en general en los organismos de las plagas, las generaciones se suceden unas a otras con rapidez y el tamaño de las poblaciones es muy grande, la resistencia genética se extiende en unos pocos años.. El número de especies de plaga con resistencia a los pesticidas ha aumentado de unas pocas (se contaban con los dedos de la mano) hace 50 años, a más de 700 en la actualidad.

“Incremento en el número de especies de insectos con resistencia genética a los pesticidas”.

2.- Alteraciones en el ecosistema

Otro de los principales problemas asociados al uso de pesticidas es el que estos matan no solo a la plaga, sino también a otros insectos beneficiosos como abejas, mariquitas y otros organismos. De esta forma pueden hacer desaparecer a los enemigos naturales de la plaga o provocar que estos se trasladen a otros lugares porque ya no encuentran alimento en ese campo y, después de un breve periodo, la población de la plaga rebrota y además en mayor cantidad que antes al no tener enemigos naturales.

Así, por ejemplo, en una investigación en la que se usó el insecticida dieldrin para matar a los escarabajos japoneses, los científicos encontraron que este insecticida provocaba además la muerte de un gran número de organismos como pájaros, conejos, ardillas, gatos e insectos beneficiosos. Desde entonces el uso de dieldrin ha sido suprimido en algunos países.

3.- Provocar la aparición de nuevas plagas

Las alteraciones en el ecosistema citadas han provocado, en algunas ocasiones, que organismos que hasta ese momento no eran plagas, al desaparecer otras especies que mantenían controlado su número, se hayan convertido en nuevas plagas.

Así, por ejemplo, cuando se usó DDT para controlar unos insectos que destruían los limoneros, como consecuencia indirecta se originó una plaga nueva con un insecto chupador que ataca a las plantas y que no era problemático antes del tratamiento con DDT.

4.- Acumulación en la cadena trófica (Bioacumulación)

Algunos pesticidas tienen estructuras químicas muy estables y tardan años en descomponerse a formas menos tóxicas. En las zonas en las que se echan estas sustancias las concentraciones del insecticida son cada vez mayores y aunque haya pasado tiempo desde la última aplicación el pesticida seguirá presente impregnándolo todo.

En muchos casos estos productos son, además, difíciles de eliminar por los organismos porque son poco solubles en agua y tienden a acumularse en los tejidos grasos. Cuando unos organismos van siendo comidos por otros el pesticida se va acumulando en mayores proporciones en los tramos finales de la cadena trófica. De esta forma un pesticida que se encuentra en concentraciones muy bajas, nada peligrosas, en un bosque o un lago, termina estando en concentraciones decenas o cientos de veces más altas en los tejidos grasos de los animales, como aves rapaces o peces o mamíferos depredadores que están situados en lo más alto de la cadena trófica.

5.- Movilidad en el ambiente

Otra fuente de problemas en el uso de pesticidas es que no permanecen en el lugar en el que se han depositado sino que se **esparcen** a través del agua, del suelo y del aire, a veces a grandes distancias.

6.- Riesgos para la salud humana

El contacto con pesticidas puede dañar a las personas en algunas circunstancias. Si el contacto es con altas dosis de pesticidas puede producirse la muerte; pero dosis bajas con largos períodos de contacto también pueden provocar enfermedades como algunos tipos de cáncer u otras.

El número de personas que mueren por pesticidas es bajo pero decenas de miles de personas se envenenan con ellos todos los años padeciendo síntomas más o menos graves. La mayoría son agricultores u otras personas que trabajan en contacto con los pesticidas. Sobre todo personas poco entrenadas para su uso, en los países en vías de desarrollo, son las que sufren estos percances.

Como en el mundo actual todos estamos expuestos diariamente al contacto y a la ingestión de pequeñísimas cantidades de plaguicidas y otros productos artificiales, algunos autores sugieren que las consecuencias para la humanidad, a largo plazo, pueden ser serias. Hablan de disminución de la fertilidad, aumento en el número de cánceres, malformaciones congénitas, etc. Aunque no hay evidencia de que esto sea así, tampoco hay completa seguridad de que el efecto a largo plazo de todo este conjunto de sustancias que estamos poniendo en el ambiente sea totalmente inocuo.

2.13 METALES PESADOS

2.13.1 Metales tóxicos

Metales tan conocidos y utilizados como el plomo, mercurio, cadmio, níquel, vanadio, cromo, cobre, aluminio, arsénico o plata, etc., son sustancias tóxicas si están en concentraciones altas. Especialmente tóxicos son sus iones y compuestos.

Muchos de estos elementos son micronutrientes necesarios para la vida de los seres vivos y deben ser absorbidos por las raíces de las plantas o formar parte de la dieta de los animales. Pero cuando por motivos naturales o por la acción del hombre se acumulan en los suelos, las aguas o los seres vivos en concentraciones altas se convierten en tóxicos peligrosos.

La industrialización ha extendido este tipo de polución ambiental. Por ejemplo en los países más desarrollados la contaminación con el plomo procedente de los tubos de escape de los vehículos ha sido un importante problema, aunque desde hace unos años se está corrigiendo con el uso de gasolinas sin plomo. También la contaminación en los alrededores de las grandes industrias metalúrgicas y siderúrgicas puede alcanzar niveles muy altos y desechos tan frecuentes como algunos tipos de pilas pueden dejar en el ambiente cantidades dañinas de metales tóxicos, si no se recogen y tratan adecuadamente.

2.13.2 Procedencia de la contaminación con metales tóxicos

Contaminación natural

Algunos elementos químicos, como el cadmio, cromo, cobalto, cobre, plomo, mercurio, níquel, plata y uranio, se encuentran repartidos en pequeñas cantidades por todas partes. Todos estos elementos son potencialmente tóxicos y pueden dañar a los seres vivos en concentraciones tan pequeñas como de 1 ppm. Además de ser elementos que se encuentran en la composición normal de rocas y minerales, pueden ser especialmente abundantes como resultado de erupciones volcánicas, o por fuentes de aguas termales. Algunos compuestos de estos metales pueden sufrir acumulación en la cadena trófica, lo que origina que a pesar de encontrarse en dosis muy bajas en el ambiente, pueden llegar a concentrarse en plantas o animales, hasta llegar a provocar daños en la salud.

Otros elementos, especialmente aluminio y hierro son muy abundantes en las rocas y en el suelo, y también pueden ser tóxicos, pero afortunadamente se encuentran en formas químicas no solubles y es muy difícil que los seres vivos los asimilen.

Contaminación artificial

La agricultura usaba algunos pesticidas inorgánicos como arseniatos de Pb y Ca, sulfato de Cr, etc, que eran muy tóxicos. Se han usado hasta hace no mucho tiempo, especialmente en las plagas forestales. Ahora ya no se usan, pero como son muy persistentes en el ambiente,

sigue habiendo lugares con concentraciones altas de estos productos. Algo similar sucedió con el uso de alquimercuriales para recubrir semillas que desde 1960 están prohibidos.

El uso de los lodos de depuradoras como abonos es, en principio, una buena idea que permite aprovechar los desechos de las plantas porque contienen una elevada cantidad de materia orgánica, magnífico nutriente para las plantas. Pero si el agua que llega a la depuradora no es solo urbana, sino que viene también de instalaciones industriales, es muy frecuente que contenga metales tóxicos que quedan en los lodos e intoxican las plantas y el suelo si se usan como abonos.

Los vertederos de minas y las industrias metalúrgicas son otra fuente de contaminación con metales muy importante en las zonas en las que están situadas. En los vertederos se suele producir lixiviación cuando el agua de lluvia disuelve y arrastra las sustancias tóxicas y las transporta por los ríos o contamina las aguas subterráneas.

Los automóviles contaminan, especialmente en la franja de unas decenas de metros más cercanas a las carreteras y en las ciudades. La contaminación con plomo ha disminuido desde que se ha sustituido el tetraetilo de plomo por otras sustancias antidetonantes en las llamadas gasolinas sin plomo, aunque algo de plomo siguen conteniendo.

2.14 COMPUESTOS ORGÁNICOS

Dioxinas, PAH (hidrocarburos aromáticos policíclicos), PCB (bifenilos policlorados) y otros compuestos orgánicos son moléculas que se caracterizan por ser muy estables químicamente y por tanto de difícil destrucción. Permanecen en el ecosistema años y algunas de ellas van acumulándose en la cadena trófica. Por esto las que son tóxicas son especialmente peligrosas y algunas son muy venenosas.

Dioxinas

Las dioxinas se han hecho muy conocidas en los últimos años porque preocupa su presencia en el ambiente ya que se encuentran en muchos lugares, aunque en bajas concentraciones, y algunas de ellas son extremadamente tóxicas. Junto con las dioxinas se suelen encontrar furanos que son unos compuestos químicos similares.

Las dioxinas y los furanos no se sintetizan deliberadamente, excepto en pequeñas cantidades para trabajos de investigación. Se producen sin querer, principalmente de dos maneras:

1. en el proceso de fabricación de algunos pesticidas, conservantes, desinfectantes o componentes del papel;
2. cuando se queman a bajas temperaturas materiales como algunos productos químicos, gasolina con plomo, plástico, papel o madera.

Hay varios cientos de dioxinas y furanos pero en su mayoría sólo son ligeramente o nada tóxicos. Pero una docena de ellos están entre las sustancias más tóxicas que se conocen. Una simple dosis de 6 millonésimas de gramo de la dioxina más letal que es la 2,3,7,8-TCDD, mata a una rata. Todavía no se sabe bien como afectan a los humanos estas sustancias. Se ha podido observar la acción de estos compuestos cuando alguna persona ha quedado expuesta por accidente a ellas, pero en estos casos sólo se puede conocer la dosis que han recibido muy aproximadamente. Por esto es arriesgado pronunciarse sobre los efectos que producen las distintas dosis, especialmente cuando hablamos de contacto con estas sustancias durante periodos de tiempo largos. 2,3,7,8-tetraclorodibenzo-p-dioxina, también llamada 2,3,7,8-TCDD.

Cuando algunas personas, por accidente, han estado expuestas a altas concentraciones de 2,3,7,8-TCDD han tenido diversos problemas de salud, pero casi todos ellos desaparecen pronto, excepto un fuerte acné (llamado cloro acné) que ha veces les ha durado décadas. Ningún estudio ha encontrado que las personas expuestas a estas sustancias, incluso aunque hayan recibido dosis muy altas, tengan índices de mortalidad más altos que lo normal.

A bastantes investigadores les preocupan más los efectos que a largo plazo pueden darse en personas expuestas a dosis muy bajas, que no provocan efectos apreciables a corto plazo. El problema con este tipo de sustancias es que no se eliminan con facilidad (tardan cinco años en reducirse a la mitad) ni se degradan y, por tanto, van acumulándose en los tejidos. En experimentos de laboratorio con animales se ha comprobado que dosis no letales pueden producir cáncer, defectos de nacimiento, reducción en la fertilidad y cambios en el sistema inmunitario.

La mayoría de los estudios que se han hecho con personas expuestas a estos productos no han encontrado que tengan más probabilidad de tener cáncer que los demás. Un estudio hecho por investigadores suecos encontró proporciones anormalmente altas de un extraño tipo de cáncer entre personas que trabajaban con herbicidas que contenían muy pequeñas cantidades de 2,3,7,8-TCDD. Pero estudios similares en otros países no han confirmado este resultado. La Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos considera el estudio de los investigadores suecos como una evidencia importante pero no adecuada de que estos productos producen cáncer en humanos. De todas formas recomienda que se tenga a esa sustancia como probablemente cancerígenos ya que producen cáncer en animales en los experimentos de laboratorio.

Las dioxinas y los furanos también reducen el éxito reproductivo en los animales de laboratorio al provocar nacimientos de bajo peso, camadas más pequeñas y abortos prematuros. Los problemas sólo suceden cuando es la madre la expuesta al 2,3,7,8-TCDD, nunca cuando es el macho, lo que demuestra que no se produce alteración del ADN, sino alteraciones en el proceso de formación del embrión.

Se han hecho muchos estudios sobre defectos de nacimiento entre mujeres expuestas al 2,3,7,8-TCDD. Algunos han encontrado un número de nacimientos defectuosos mayor que el normal, pero en la mayoría de las investigaciones no se han encontrado evidencias de defectos de nacimiento o problemas reproductivos por este motivo.

Por lo que sabemos hasta ahora, con estudios minuciosos y detallados, las personas que han recibido dosis anormalmente altas de estas sustancias mantienen una salud normal. Todo indica que el hombre soporta estas sustancias mucho mejor que la mayoría de los animales de laboratorio. También es claro que trazas (concentraciones muy bajas, casi inapreciables) de estas sustancias se han encontrado en tejidos y en la leche materna de personas de muchos países; pero no podemos afirmar nada con seguridad sobre los efectos a largo plazo que esta contaminación puede suponer.

PAH (Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos)

Los hidrocarburos aromáticos policíclicos son un grupo de más de 100 compuestos químicos que, aunque no se suelen fabricar con fines comerciales o industriales, exceptuando unos pocos para la fabricación de algunos plásticos, medicinas, colorantes y pesticidas; se forman en la combustión incompleta del carbón, petróleo, gas y otras sustancias orgánicas.

Respecto a su peligrosidad para la salud podemos decir de ellos algo muy similar a lo afirmado en el caso de las dioxinas. En experimentos de laboratorio, usados a dosis altas, inducen la formación de cáncer, producen problemas de fertilidad y alteraciones en el desarrollo del embrión, etc.

Pero no se puede afirmar que dañen la salud humana, porque ningún estudio ha demostrado claramente relación entre la exposición a estas sustancias a dosis normales en el ambiente y el desarrollo de enfermedades. De todas formas son sustancias bajo sospecha y se sigue estudiando su posible peligrosidad y buscando formas de evitar su emisión al ambiente.

PCB (Bifenilos PoliClorados)

Los PCB son un grupo de 209 compuestos químicos sintetizados por el hombre, entre los cuales hay sustancias de muy distinta toxicidad. Por sus características de buen poder aislante y no ser inflamables, algunos de ellos se han usado mucho como líquidos refrigerantes y lubricantes en transformadores y otros equipos eléctricos. También se han utilizado en la fabricación de pinturas y plásticos, como aceites hidráulicos, etc. En bastantes países se dejaron de fabricar a finales de la década de 1970 cuando se encontraron signos de que son sustancias dañinas para el ambiente y posiblemente para la salud.

Los PCBs son sustancias muy persistentes que tienden a acumularse en los tejidos grasos. Su toxicidad es moderada pero se sospecha que como en el caso de las dioxinas y los PAH, puedan inducir cáncer y dañar al sistema nervioso y al desarrollo embrionario

Toxinas naturales

Se llaman toxinas naturales a sustancias venenosas formadas por bacterias, plantas o animales. Algunas de ellas son las sustancias más tóxicas que conocemos. Así, por ejemplo, una toxina producida por hongos, la aflatoxina, es un cancerígeno extraordinariamente potente. Se encuentra en cereales o frutos secos almacenados en malas condiciones de humedad y temperatura.

La ocratoxina debilita el sistema inmunitario y se encuentra, con frecuencia, en cereales y comida para animales. La zearalenona, también frecuente en cereales, maíz o heno, cuando no han sido bien almacenados, es una sustancia muy parecida a algunas hormonas del tipo de los estrógenos, por lo que puede interferir con su funcionamiento en el organismo.

Se han producido intoxicaciones con estas sustancias en países de mucha humedad y altas temperaturas con bajo nivel de desarrollo, en los que se almacenan los alimentos en malas condiciones. En los países desarrollados se pueden encontrar trazas de ellas en la dieta humana, al comer carne de ganado alimentado con piensos contaminados.

En el mar, el fitoplancton también produce poderosas toxinas en algunas ocasiones. El crecimiento explosivo de estos microorganismos venenosos provoca grandes mortandades en los seres vivos de la zona.

Es característico de las toxinas naturales ser menos persistentes en el ambiente y acumularse mucho menos en las cadenas tróficas que los productos químicos tóxicos sintéticos.

BIBLIOGRAFÍA

Dickson, T. R. "QUÍMICA ENFOQUE ECOLÓGICO", Limusa, México, 1997, México, Pag. 406

Doménech, X. QUÍMICA DE LA HIDROSFERA "ORIGEN Y DESTINOS DE LOS CONTAMINANTES", Miraguano Ediciones, Madrid, 1995, España, Pag. 174

Glynn, J; Heinke, G. INGENIERÍA AMBIENTAL, Segunda Edición, Prentice Hall, México, 1999, México, Pag. 777

Kiely, G. INGENIERÍA AMBIENTAL VOLUMEN 1, Mc Graw – Hill, Madrid, 1999, España, Pag. 408

Helmer, R. ; Español, I. CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA, CEPIS/OPS-OMS, Lima, 1999, Perú, Pag. 546

Metcalf y Hedí Inc. INGENIERÍA DE AGUAS RESIDUALES, Mc Graw – Hill, México, 1996, México, Pag. 752

Nebel, B. J.; Wrigth, R. T. CIENCIAS AMBIENTALES "ECOLOGÍA Y DESARROLLO SOSTENIBLE", 6ª Edición, Pearson editores, México, 1999, México, Pag. 720

Romero R., J. A. TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL, Escuela Colombia de Ingeniería, Santa Fe de Bogotá, 1999, Colombia, Pag. 785

Sawyer, C. N.; Perry, L. QUÍMICA PARA INGENIERÍA AMBIENTAL, Cuarta edición, Mc Graw – Hill, Bogotá, 2000, Colombia, Pag. 408

INFORME DE SITUACIÓN DE MANEJO DE AGUAS RESIDUALES EN COLOMBIA,
www.cepis.ops-oms.org

Libro Electrónico CIENCIAS DE LA TIERRA Y EL MEDIO AMBIENTE,
<http://www.ceit.es/asignaturas/ecologia/Hiopertexto/09ProQui/111ProbPest.htm>