



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

# **EVALUACIÓN, EFECTOS Y SOLUCIÓN DE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA.**

**M.I. ERNESTO MURGUIA VACA**

CONTENIDO

<b>Prologo</b>	v
<b>1. Contaminación de aguas</b>	1
1.1. Origen de la contaminación	1
1.2. Distribución de los recursos hidráulicos	2
1.3. El hombre y la contaminación del agua	6
1.4. Contaminación de aguas superficiales	9
1.5. Contaminación de aguas subterráneas	10
1.5.1. Manantiales	12
1.5.2. Pozos	12
1.5.3. Galerías filtrantes	13
1.6. Contaminación de aguas marinas	13
1.6.1. Petróleo e hidrocarburos	13
1.6.2. Radiactividad	16
1.7. Ejercicios	17
<b>2. Muestreos y laboratorios</b>	18
2.1. Muestreos	18
2.2. Laboratorios	22
2.3. Sitios de muestreo	24
2.4. Ejercicios	25

<b>3. Análisis a las aguas contaminadas</b>	<b>27</b>
3.1. Generalidades	27
3.2. Análisis	28
3.3. Parámetros físicos	31
3.3.1. Temperatura	32
3.3.2. Color	32
3.3.3. Olor	34
3.3.4. Turbiedad	36
3.3.5. Residuos	38
3.3.6. pH	41
3.3.7. Conductividad eléctrica	42
3.3.8. Radiactividad	43
3.4. Parámetros químicos	44
3.4.1. Oxígeno disuelto	44
3.4.2. Nitrógeno	49
3.4.3. Cloruros	51
3.4.4. Detergentes	51
3.4.5. Acidez y alcalinidad	55
3.4.6. Demanda química de oxígeno	55
3.5. Parámetros biológicos	56
3.5.1. Demanda bioquímica de oxígeno	56
3.5.2. Bacteriología	68
3.5.3. Número más probable	70
3.5.4. Algas	75
3.6. Ejemplos de análisis	83
3.7. Ejercicios	90
<b>4. Usos del agua y su calidad</b>	<b>91</b>
4.1. Uso doméstico	92
4.2. Agua para la industria	92
4.3. Riego agrícola	93
4.4. Desarrollo y protección de fauna	96
4.5. Propagación de peces y vida acuática	96
4.6. Agua para natación	97
4.7. Canotaje y disfrute estético	97
4.8. Energía y navegación	97
4.9. Ejercicios	98

<b>5. Indice de calidad</b>	<b>99</b>
5.1. Evaluación de la contaminación	99
5.2. Indice de calidad	100
5.3. Ejercicios	103
<b>6. Ecología y contaminación acuática</b>	<b>105</b>
6.1. Diversas interrelaciones	105
6.2. Comentarios sobre algunos parámetros	108
6.2.1. Temperatura	108
6.2.2. Detergentes	108
6.2.3. Aguas negras	109
6.2.4. Desechos industriales	110
6.3. Ejercicios	110
<b>7. Aspectos legales de la contaminación de aguas</b>	<b>112</b>
7.1. Necesidad de legislar	112
7.2. Legislación Nacional	113
7.3. Ejercicios	121
<b>8. Autodepuración del agua</b>	<b>122</b>
8.1. Desoxigenación y reoxigenación	125
8.1.1. Desoxigenación por carga bental	125
8.1.2. Reoxigenación atmosférica	127
8.2. Balance de oxígeno disuelto	129
8.3. Carga permisible en corrientes receptoras	135
8.4. Balance del oxígeno disuelto en lagos	139
8.5. Ejercicios	144
<b>9. Prevención de la contaminación</b>	<b>146</b>
9.1. Justificación y objetivos de los tratamientos	146
9.1.1. Planeación	147
9.1.2. Actividades	148
9.2. Procesos de tratamiento	152
9.3. Procesos preliminares	153
9.3.1. Rejas y rejillas	154
9.3.2. Cedazos	154

9.4. Procesos primarios	154
9.4.1. Desarenadores	154
9.4.2. Desgrasadores	155
9.4.3. Sedimentadores primarios	154
9.4.4. Fosas sépticas	155
9.5. Procesos secundarios aerobios	157
9.5.1. Lodos activados	157
9.5.2. Filtros rociadores	159
9.5.3. Filtros intermitentes y lechos de contacto	159
9.5.4. Rotores	160
9.5.5. Lagunas de estabilización	160
9.6. Procesos secundarios anaerobios	162
9.6.1. Tanque Imhoff	163
9.7. Procesos terciarios	164
9.8. Ejercicios	164
<b>Bibliografía</b>	165

## PROLOGO

Cuando escucho que los problemas se agravan y complican conforme pasa el tiempo, en cierto grado comparto la opinión; sin embargo si se analiza cualquier campo en el ámbito histórico, se llegará a entender que solamente se trata de distintas formas de presentación.

En cuanto a la contaminación, sin ir muy lejos en el tiempo, se consignan en descripciones novelescas, protestas por el ruido y el polvo producido por los carruajes, así como por el olor y suciedad de los caballos que los tiraban; en el medio urbano actual, cuántos no quisiéramos percibir esas molestias como símbolo de pureza ambiental.

Los conceptos cambian; tampoco hace mucho tiempo que el progreso se medía en función de la cantidad de humeantes chimeneas; ahora no deseamos ver una. El hundir barcos cargados de petróleo en la Segunda Guerra Mundial era práctica común y lo que menos importaba entonces, era el actual temor a la dispersión de los hidrocarburos en los océanos.

Algunos aspectos no son los mismos ni producto simple de cierto nivel de apreciación; tal sucede con el uso negativo de la energía nuclear que es una amenaza actual; con la rápida y nutrida variedad de productos tóxicos que invaden el mercado, que también es reciente o con el incesante incremento poblacional, que no se puede despreciar.

Por otro lado, algunos padecimientos los provoca el increíble desarrollo tecnológico, que así como ha degradado el ambiente, también puede corregirlo, evitarlo y mantenerlo para ofrecer una vida tranquila y saludable.

Lo que sucede al detectarse una acción como problema, es que se rompe el equilibrio que debe imperar en la naturaleza y que la sociedad humana no solamente deja de restablecerlo sino que lo incrementa.

De los problemas ambientales, los relativos al agua quizá sean los de más urgente atención, ya que no obstante la abundancia de este recurso, es difícil de obtener en cantidad y calidad adecuados para el consumo humano. Esta dificultad se acrecienta conforme aumenta el grado de contaminación y al considerar que es muy lenta y costosa su regeneración.

Dar a conocer solamente las causas de la contaminación no basta, se debe saber cómo detectarla a fin de poderla corregir y evitar. Esto es lo que constituye los objetivos de esta obra que en forma de interrogantes son los siguientes:

¿Por qué se contaminan las aguas?

¿Cómo puede conocerse su grado de contaminación?

¿Qué debe hacerse para regenerar y conservar su buena calidad?

México, D. F. noviembre 1983

CAPITULO I  
CONTAMINACION DE AGUAS

1.1. Origen de la contaminación

{La salud humana depende de muchos factores entre los que se halla en forma primordial tanto la cantidad como la calidad del agua utilizada} Según dice la Organización Mundial de la Salud "casi la cuarta parte de las camas disponibles en todos los hospitales del mundo están ocupadas por enfermos cuyas dolencias se deben a la insalubridad del agua".

~~El problema de la contaminación del agua empieza con los grandes conglomerados humanos y el advenimiento de la industrialización, debido a que la cantidad de desechos aumenta considerablemente por estos conceptos.~~

Este fenómeno se ha presentado en países altamente desarrollados en donde se han tomado medidas tendientes a la regeneración de corrientes contaminadas principalmente por efluentes industriales, con altos costos y lentos resultados.

[En México afortunadamente se está a tiempo de impedir la manifestación de este fenómeno, mediante un correcto



cumplimiento de la reglamentación tendiente a controlar la salida de los efluentes, evitando las grandes erogaciones que implican los procesos del saneamiento de las corrientes.

El estudio de la contaminación de aguas y su prevención debe extenderse a todo tipo de agua que el hombre puede usar. Entre esos tipos de agua se encuentran las aguas subterráneas y las aguas marinas. La importancia del agua subterránea resulta de su volumen ya que el consumo se acrecienta en forma vertiginosa. Las aguas marinas han sido vistas con la idea de usarlas para beber, previa desalinización y aunque en la actualidad los procedimientos para obtenerla dan como resultado costos altos, los científicos de varios países hacen estudios relativos a su explotación y reducción de costos.

### 1.2. Distribución de los recursos hidráulicos

Teóricamente el volumen de agua (en sus tres estados: sólido, líquido y gaseoso) que existe en nuestro planeta, es el mismo desde los primeros tiempos. Su distribución en el mundo ha sido estudiada por diversos autores<sup>(1)(2)(3)(4)</sup> aunque entre ellos no existe una concordancia completa; sin embargo, el orden de las cantidades son los mismos. La Tabla N° 1 contiene una de las estimaciones.<sup>(5)</sup>

La cantidad tan grande de agua en mares y océanos unida a la de hielo polar y nieve, es prácticamente inaccesible<sup>(6)</sup>, aunque el estudio de los glaciares como fuentes de suministro de agua, está dando como resultado un catálogo tan detallado, que pronto podrán ser objeto de utilización<sup>(7)</sup>. El agua dulce de lagos se podría emplear en parte; el agua salada de los lagos por su condición, quedaría fuera de uso normal.

El agua corriente que representa un mínimo del total, es la que más se utiliza, debiéndose poner mayor atención

TABLA Nº 1  
DISTRIBUCION Y VOLUMEN MUNDIAL DE AGUA SUPERFICIAL

FUENTE	VOLUMEN EN Km <sup>3</sup>	PORCENTAJE
Agua de mares y océanos	1 370 000 000	98.2519
Hielo polar y nieve	24 000 000	1.7212
Lagos de agua dulce	150 000	0.0108
Lagos de agua salada	130 000	0.0093
Agua en corrientes	1 200	0.0001
Agua constitutiva de los suelos	80 000	0.0057
Vapor atmosférico	14 000	0.0010
Total	1 394 375 200	100.0000

Fuente: Lvovitch (1977)

en su conservación por los beneficios que produce su empleo, como son entre otros: consumo humano; riego agrícola; proceso industrial; y acarreo de desechos. Es precisamente esta última acción la que debería atenderse para que los desechos no inutilicen la corriente para usos posteriores como sucede frecuentemente.

En cuanto a la explotación y uso del agua dulce, tanto la superficial como la subterránea, ha sido muy irregular, pues se presenta el caso muy frecuente de grandes núcleos de población concentrados a las orillas de ríos poco caudalosos o en zonas semidesérticas, en contraste con el nulo aprovechamiento de grandes corrientes en las cercanías de las cuales se ubican escasos centros urbanos con baja población.

Otra fuente muy importante es la del agua subterránea, cuyas cifras son las que se indican en la Tabla Nº 2<sup>(5)</sup>

TABLA N° 2

## AGUA SUBTERRANEA MUNDIAL

CONCEPTO	VOLUMEN EN Km <sup>3</sup>
Total explotable	60 000 000
Zona de activa producción	4 000 000

Fuente: Lvovitch (1977)

La estimación de agua subterránea es aproximada, sobre todo la aprovechable, ya que su cantidad depende de la zona y profundidad promedio de los pozos de explotación. Además debe considerarse que no en todos los sitios se puede extraer esta clase de agua; hay que tomar en cuenta las restricciones que se imponen al mantener el equilibrio entre la cantidad llovida y la infiltrada, para extraer como máximo la que pueda prevenir una sobre explotación que produjera resultados a veces de tipo catastrófico. No debe olvidarse el agua que se emplea en riego y que representa un volumen superior al de consumo humano; desde el punto de vista social y económico resulta impropio regar con aguas subterráneas, pues en general su calidad es potable.

En cuanto a la cantidad de agua y su calidad, cabe aclarar que la tecnología actual ha hecho posible el uso del agua de los mares y de los hielos polares para abastecer a grandes conglomerados humanos aunque a costos superiores a los obtenidos a través de las fuentes tradicionales<sup>(6)(7)</sup>.

Respecto al agua superficial y su distribución en la República Mexicana, la información es variada<sup>(36)(38)</sup> según la fecha de investigación, aunque vale la pena aclarar que las diferencias son mínimas, del orden de uno por ciento.

En la Tabla N° 3 puede observarse un dato que da un total de 365,932 millones de m<sup>3</sup> integrados por vertientes y ríos principales que las conforman.<sup>(8)</sup>

TABLA N° 3  
ESCURRIMIENTO EN LA REPUBLICA MEXICANA

VERTIENTE DEL GOLFO	ESCURRIMIENTO MILLONES DE m <sup>3</sup>	% DEL TOTAL
Bravo	5,810	1.6
Ránuco	17,300	4.7
Tecolutla	7,529	2.1
Papaloapan	30,175	8.3
Coatzacoalcos	22,395	6.1
Sistema Grijalva-Usumacinta	105,200	28.7
Tonalá	5,875	1.6
Otras menores	41,417	11.3
Subtotal	235,701	64.4
VERTIENTE DEL PACIFICO		
Colorado	1,850	0.5
Yaqui	2,790	0.8
Fuerte	5,933	1.6
Culiacán	3,357	0.9
Lerma-Santiago	11,457	3.1
Ameca	3,599	1.0
Balsas	13,863	3.8
Papagayo	5,634	1.5
Ometepec	4,459	1.2
Verde	6,173	1.7
Otras menores	67,450	18.5
Subtotal	126,565	34.6
VERTIENTE INTERNA		
Río Nazas	1,302	0.4
Otras menores (incluyendo lagos y lagunas)	2,364	0.6
Subtotal	3,666	1.0
<b>TOTAL EN EL PAIS</b>	<b>365,932</b>	<b>100.0</b>

Fuente: Bassols (1976)

La cantidad de agua subterránea se consigna en la  
Tabla N° 4.

TABLA N° 4  
AGUAS SUBTERRANEAS EN LA REPUBLICA MEXICANA

Total explotable	255 Km <sup>3</sup> /anuales
Aprovechables	28 Km <sup>3</sup> /anuales

1.3 El hombre y la contaminación del agua

La naturaleza mantiene en constante equilibrio todos los factores que permiten el proceso biológico en continuo desarrollo, aún cuando en ocasiones aparente que se vuelve sobre lo que cuida, como sucede por ejemplo con los depredadores, que los hay desde magnitudes microscópicas como las bacterias hasta enormes como el fuego. Desde el punto de vista ecológico todo esto es mecánico, pero el hombre en su muy loable afán de superación, modifica estas condiciones con repercusiones en su ambiente. Así se tiene desde tiempos inmemoriales la quema de bosques y pastizales con fines de cultivo, que dejan al suelo expuesto a una más rápida erosión aumentando al mismo tiempo los sedimentos en las corrientes de drenaje. El incremento de desechos urbanos cada vez más compactos es otro ejemplo.

Los conglomerados humanos más importantes han surgido cerca de los ríos por las grandes ventajas que se obtienen, como son entre otros, el surtirse de agua; pero todos los desechos líquidos naturalmente reconocen la misma cuenca, degradando el agua corriente abajo. Esto no es problema nuevo; por ejemplo y sin remontarse a épocas históricas lejanas, en el año de 1167 se decía que en Roma "los estanques, las cavernas y los ruinosos lugares que rodeaban a la ciudad, exhalaban vapores venenosos y el aire de toda la vecindad se había cargado de pestilencia y muerte". En el Siglo XII Santa Hildegarda escribía que las aguas del Rin, de ser bebidas sin hervir, "producirían nocivos fluidos azules en el cuerpo"; paradójicamente Rin se deriva de una palabra alemana que significa pureza<sup>(9)</sup>.

El hombre añadió más contaminación al ambiente cuando comenzó a consumir combustibles fósiles para obtener energía y aunque esta nueva fuente hizo posible el incremento industrial, de transporte y otras actividades, a la vez dió origen a nuevos desechos que llegaron a los ríos y a los mares.

Los científicos de salud pública del Siglo XIX, en cierta medida detectaron y enseñaron a controlar la contaminación del agua debida a bacterias patógenas y materia orgánica ordinaria, pero actualmente se padece además la contaminación del agua por origen químico, a causa de la inmensa variedad de sustancias minerales y sintéticas que invaden al mercado entre las que se hallan más de medio millón de tipo artificial, creciendo este número con 400 a 500 nuevos productos químicos por año<sup>(10)</sup> entre los que se cuentan insecticidas, plásticos, antibióticos, radioisótopos y detergentes. Tan solo una minúscula fracción de esas sustancias químicas, por separado o en combinación, resultan en ocasiones tóxicas al plancton marino que producen cerca del 70 por ciento de la provisión anual de oxígeno de la tierra. Existen pruebas de que el insecticida DDT puede suprimir la fotosíntesis en grandes extensiones de agua; aún más temibles son los herbicidas para estos casos.

La difusión del empleo del DDT (actualmente en desuso) estriba en que es un insecticida capaz de destruir los mosquitos vectores de la malaria. Este producto permitió evitar la muerte prematura de centenares de millones de seres humanos azotados por las enfermedades causadas por vectores transmisores del paludismo, enfermedad de chagas, peste, tifo, fiebre amarilla, dengue, encefalitis, etc. A centenares y millares de kilómetros de las casas y de los campos rociados con DDT, se podía descubrir la presencia del insecticida. En todos los ejemplos de contaminación citados, se observa que el problema fundamental lo constituyen el crecimiento de población paralelamente al progreso tecnológico. Véanse Figuras 1 y 2.

La relación del hombre con la degradación ambiental es clara si se observa la definición que da la Organización Mundial de la Salud para contaminación de corrientes:

Se considera que una corriente ha sido contaminada por el hombre, cuando ésta contiene elementos

AC. DE INGENIERIA  
EXHIBITOS

físicos, químicos o biológicos de tal forma, que presenta más dificultad para su uso, que las que presentaría en caso de que estuviese en estado natural.

La gráfica de población mundial en relación al tiempo, muestra la concordancia de su incremento con el avance tecnológico y de las ciencias en general, haciéndose también extensiva al aumento de contaminación.

FIGURA Nº 1. Disturbios en las corrientes.

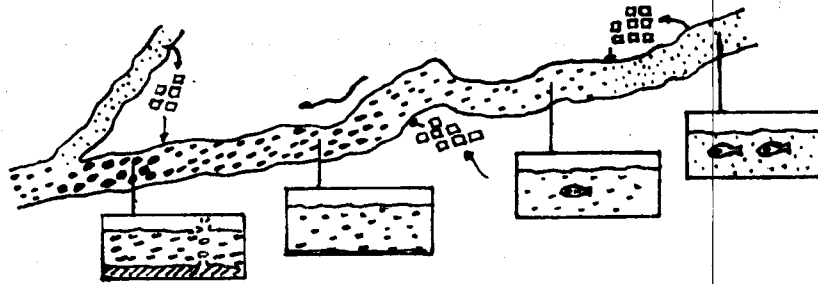
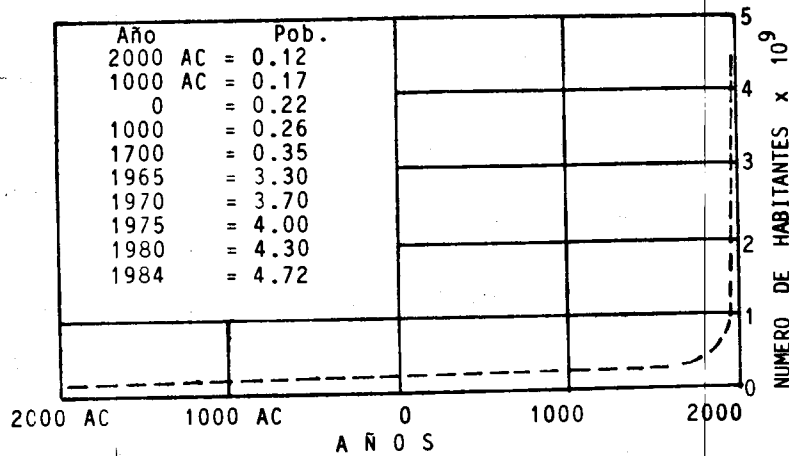


FIGURA Nº 2. Crecimiento de la población mundial.



#### 1.4. Contaminación de aguas superficiales.

Las causas de contaminación en ríos y lagos presentan dos aspectos importantes que deben diferenciarse; esos aspectos son el natural y el artificial, considerando al natural como el provocado por aquellas sustancias y materias arrastradas y disueltas en el agua que la hacen nociva en su uso; y al artificial cuando las sustancias y materiales son añadidas por el hombre que hacen cambiar radicalmente el estado original de la fuente. Para ver con mayor claridad la forma en que el agua adquiere contaminación natural y artificial, tómese como base el ciclo hidrológico:

Se observa que el agua al caer en forma de lluvia, arrastra partículas y gases comunes en la atmósfera como el oxígeno, bióxido de carbono y azufre, además de polvos y gases producidos por el hombre, generalmente antes de su contacto con la superficie terrestre está libre de bacterias conteniendo solamente algo de polvo y compuestos químicos provenientes de los gases y vapores que atraviesa en su caída.

Una parte del agua de lluvia se infiltra en el terreno y otra escurre libremente, el escurrimiento superficial arrastra materia orgánica e impurezas tales como fertilizantes e insecticidas. Estas aguas superficiales forman arroyos y ríos que por su velocidad de escurrimiento tienen un poder de arrastre, transportando materia orgánica, arcillas y minerales dependiendo del tipo de suelo por donde pasan. Siempre están expuestas a contaminación y es así como se hallan normalmente hasta llegar a los mares y océanos.

Algunos ríos forman lagunas, lagos y embalses donde existe acumulación de materia orgánica (vegetales en descomposición), que en general traen



como consecuencia una disminución del oxígeno disponible en el agua, así como colores y olores que dificultan su potabilización posterior. El agua así confinada tiene muy distintas calidades según sus niveles de profundidad debidas principalmente al plancton. El plancton es el conjunto de microorganismos animales y vegetales que viven normalmente en el agua y están afectados por las estaciones anuales, los días de sol y las variaciones de temperatura diaria.

El agua de lluvia o superficial que se infiltra en el terreno, pasa a formar parte del agua subterránea, siendo de muy baja contaminación tanto bacteriológica como mineral, ocurriendo esta última de acuerdo a la geología del sitio de explotación, pudiendo contener bióxido de carbono en donde se disuelven varias sustancias. Los manantiales son las aguas subterráneas que afloran a la superficie en forma natural y como tales, tienen su origen en la infiltración del agua superficial o de lluvia; son de calidad muy buena pero factibles de contaminación de tipo orgánico al contacto con el aire y el suelo. El agua que se extrae de pozos y galerías por lo común es de buena calidad si se tiene cuidado de que en su extracción no se provoque contaminación.

#### 1.5. Contaminación de aguas subterráneas

La importancia de las aguas subterráneas resalta al considerar el volumen disponible ya que fuera de las aguas de los océanos y de los glaciares, supera por mucho a la capacidad de las demás fuentes.

Las aguas del subsuelo ofrecen un suministro natural más puro, económico y satisfactorio que el obtenido a través

de aguas superficiales que requieran de tratamiento. Si no se administran cuidadosamente, fallarán en cantidad y en calidad pudiéndose dar el caso de que tengan que ser abandonadas.

No obstante su volumen y su resguardo, el agua subterránea no es absolutamente segura en su calidad e inagotable en su volumen. Las arenas y otros suelos de grano fino o de rocas, pueden suministrar contaminación de tipo químico al disolverlos. Si los pozos no están correctamente contruidos, tampoco debe sorprender que se detecten brotes de enfermedades hídricas al igual que en las aguas superficiales.

Las aguas subterráneas pueden por tanto contener metano, ácido sulfhídrico y grandes cantidades de dióxido de carbono provenientes de la descomposición de las plantas en el suelo; el rastrojo de las cosechas, las hojas que caen y las sustancias orgánicas de desecho, son destruidas por bacterias, hongos y otros microorganismos del suelo; esta materia en conjunto puede pasar a las capas superficiales del agua subterránea provocando al mismo tiempo que cedan parte de su oxígeno disuelto a los saprofitos.

Ningún suministro subterráneo es inagotable; un aprovechamiento sobrebombeado fallará por romper el equilibrio con la recarga. Consumos en exceso cercanos al mar permitirán la introducción del agua salada al acuífero, lo que al fin y al cabo viene a ser una contaminación.

La autopurificación de las aguas subterráneas contaminadas difiere apreciablemente de las de las aguas superficiales. La variedad de organismos vivientes que se alimenta de las sustancias contaminantes, se encuentra sumamente restringida y depende del confinamiento y oscuridad, así como del espacio entre los poros del suelo. Esta posibilidad de contaminación biológica, aún cuando remota, obliga a pasar el agua antes de su consumo, por un proceso de desinfección.

12 Evaluación, efectos y solución de la contaminación de aguas

Del agua subterránea se extrae a nivel nacional el 35 por ciento de la disponibilidad potencial renovable que equivale al 10 por ciento del total<sup>(35)</sup>. Las fuentes comunes de explotación de aguas subterráneas son los manantiales, pozos y galerías filtrantes.

1.5.1. Manantiales.

En los manantiales la contaminación se origina cerca del punto de captación y se puede prevenir resguardando el manantial mediante una cámara que penetra hasta una distancia segura dentro del acuífero, para con ella desviar el escurrimiento hacia las tuberías de desfogue y conducción. Véase figura Nº 3.

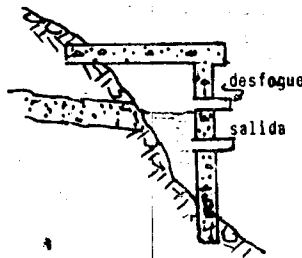


FIGURA Nº 3. Manantial

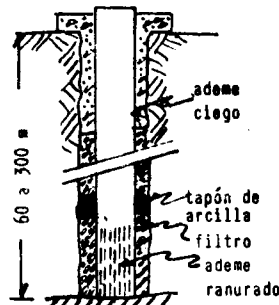


FIGURA Nº 4. Pozo profundo

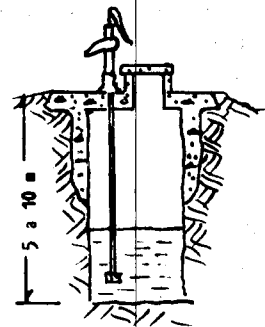


FIGURA Nº 5. Noria

1.5.2. Pozos.

Excepto en roca dura, particularmente en piedra caliza, sin cubierta de arena o grava, los pozos generalmente no sufren contaminación por infiltración lateral sino por entrada vertical de los contaminantes en la superficie del suelo o cerca de ella.

En las norias, que son pozos someros, la contaminación se evita mediante revestimiento impermeable o sellos que penetran por lo menos tres metros bajo la superficie del terreno. Véanse figuras 4 y 5.

### 1.5.3. Galerías filtrantes

La calidad del agua proveniente de una galería filtrante depende en gran parte del diseño y su construcción, ya que el agua que se capta es prácticamente o en su mayoría, de origen superficial reciente; y como agua superficial, está sujeta a innumerables causas de contaminación.

## 1.6. Contaminación de aguas marinas

La extensión de los mares es de unos 360 millones de kilómetros cuadrados y su volumen de aproximadamente 1,370 millones de kilómetros cúbicos; parecería que los océanos deberían estar fuera de toda posibilidad de contaminación, pero no es así ya que están contaminados en algunas partes de su extensión y zonas costeras de gran actividad turística o industrial.

### 1.6.1. Petróleo e hidrocarburos

En forma natural existen en el fondo marino hidrocarburos formados por los procesos biosintéticos y geoquímicos que son desdoblados por los organismos marinos en su ciclo natural. Los hidrocarburos provenientes del petróleo producen contaminación por su alta concentración en espacios confinados lo que causa un desequilibrio en los organismos que no alcanzan a contrarrestarlo por adaptación; cuando la concentración es alta puede provocar la extinción y cuando no es tanta, disturbios en la cadena alimenticia con restablecimiento muy lento.

La extracción mundial de petróleo es aproximadamente de 2,000 millones de toneladas por año<sup>(1)</sup>; por tanto, la contaminación es una consecuencia inevitable de las grandes cantidades de hidrocarburo que se transporta y se usa en todas partes.

Respecto a este último punto, en estudios sobre contaminación por petróleo en el Mediterráneo en 1970<sup>(11)</sup>, se

14 Evaluación, efectos y solución de la contaminación de aguas definió que en la zona más afectada, que fue al sur de Italia, había más de 500 l. de petróleo por Km<sup>2</sup> de superficie marina. En 1974 otros estudios no solo confirmaron esto, sino que lo extendieron hacia mar adentro al seguir las rutas de los barcos cisternas.

Aunque existen accidentes, la contaminación por petróleo se considera actualmente de tipo crónico. Según se informó en septiembre de 1978 a la Asamblea Preliminar de la Junta Europea<sup>(12)</sup>, se estima que anualmente se descargan al mar entre 2 a 10 millones de toneladas de petróleo; de ellas el 54 por ciento proviene de tierra a través de los ríos contaminados y de las refinerías costeras. El transporte marino es responsable del 37 por ciento; los accidentes representan un 6 por ciento; el resto o sea el 3 por ciento se debe a las perforaciones directas en el mar. Se agregó también como información, que en 20 años se habían registrado algo más de 250 accidentes graves pero que aún así, se considera más peligrosa la contaminación crónica que la accidental.

Para el Mediterráneo, las Tablas 5 y 6 aportan los datos del muestreo que para ese objeto se realizaron en 1974<sup>(13)</sup>

TABLA N° 5  
CONTENIDOS DE PETROLEO ENCONTRADOS DURANTE 1974 EN LA SUPERFICIE  
DEL MAR MEDITERRANEO

Sitio	N° de muestras	% de las muestras con petróleo	Contenido en mg/m <sup>2</sup>	
			Variación	promedio
Mar Jónico	21	95	0.23 28.02	9.98
Mar Tirreno	9	100	2.30 17.43	7.06
Mar Adriático	20	55	0.11 17.90	1.77
Mar Ligur	15	100	0.24 4.60	1.55
Mar Baleares	6	100	0.08 6.23	1.27
Mar Egeo	17	23	0.05 0.43	0.23
Costa Africana	22	100	0.44 17.50	6.83
Mar Negro	10	100	0.14 6.30	1.34

Fuente: Ostenberg (1977)

TABLA Nº 6  
RELACION ENTRE PETROLEO DERRAMADO Y LA CONCENTRACION  
DE ALQUITRAN

Sitio	Area $10^{12}$ m <sup>2</sup>	Petróleo derramado mg/m <sup>2</sup> /año	Relación de contenido en alquitrán mg/m <sup>2</sup> /año	Promedio de alquitrán hallado mg/m <sup>2</sup>
Atlántico Norte	33.0	17.45	6.13	5.0
Mediterráneo	2.5	108.00	38.00	20.0
Corriente de Mar de Japón	10.0	33.00	11.60	3.8
Pacífico N.E.	40.0	0.74	0.26	0.4
Pacífico S.W.	45.0	0.05	0.02	0.005

Fuente: Ostenberg (1977)

En forma especial se informa de un estudio que se hizo con el anfípodo *Gammarus oceanicus* colocado en aguas contaminadas con petróleo<sup>(14)</sup>; los resultados demostraron que se ven afectados en su proceso de reproducción. La concentración de petróleo fue de 1 mg/l y concuerda con los resultados de otras investigaciones en que se demuestra que bajo concentraciones subletales, el petróleo afecta o impide la reproducción de las especies.

Por otro lado, si la mancha de petróleo es muy amplia puede afectar a la luminosidad y cabe recordar que en todo medio acuático el factor iluminación entra en combinación con el equilibrio entre cantidad de alimentos y número de organismos.

Los hidrocarburos son degradados biológicamente tanto por bacterias como por hongos<sup>(30)</sup> actuando dentro de un ámbito muy amplio de temperatura (0° a 60°C). La microflora marina incluye muchos organismos activos al desdoblamiento de hidrocarburos, aunque también debe hacerse notar que particularmente los alcanos de cadena corta, son tóxicos a ciertas bacterias.

## 1.6.2. Radiactividad.

La presencia de radiactividad en el agua marina se ha incrementado debido a la instalación de plantas nucleares y al acelerado uso de radioisótopos. Contaminación tan importante como la de los desperdicios de reactores nucleares o de drenajes de laboratorios, es la de los lodos de plantas que procesan elementos radiactivos. El tratamiento se basa en la eliminación de las partículas radiactivas del residuo o en la dilución del residuo hasta límites tolerables de concentración radiactiva. Aunque los desperdicios se almacenan en el suelo, pueden ser acarreados por corrientes llegando a contaminar mares y lagos.

Muchas de estas sustancias son de tal naturaleza que su desintegración nuclear es lo suficientemente rápida para que resulten inofensivas en poco tiempo. Otros materiales por el contrario, pueden necesitar un almacenamiento de varios años antes de convertirse en inocuos.

La media vida de los isótopos que constituyen los principales desperdicios radiactivos se indica en la Tabla N° 7

TABLA N° 7  
MEDIA VIDA DE ALGUNOS ISOTOPOS RADIATIVOS

Elemento	Media vida
Bario 140	12 días
Cesium 144	28 días
Cesium 137	30 años
Estroncio 89	53 días
Estroncio 90	19.9 años
Iodo 131	8 días
Itorio 91	61 días
Niobio 95	35 días
Zirconio 95	65 días

Era práctica usual que los desperdicios de material radiactivo fueran tirados a las profundidades marinas y aunque muy pocos países siguen haciéndolo, consideran con-

diciones cada vez más severas para resguardo de la salud. Lo peor de esto es que la disposición de isótopos de larga vida arrojados al mar, pueden conducir a serias contaminaciones de alimentos en el futuro, pues es generalmente aceptado que las algas y los vegetales superiores concentran ciertos isótopos dentro de sus células.

1.7. Ejercicios

- 1) Redacte un escrito sobre cualquier compuesto que cause problemas al agua de los ríos.
- 2) Investigue y escriba sobre los derrames de petróleo al mar y los efectos que producen
- 3) Investigue sobre los isótopos radiactivos más empleados en actividades tecnológicas y comente sobre ese tema.

**FAC. DE INGENIERIA**  
**INFORMACION**



## CAPITULO 2

### MUESTREOS Y LABORATORIOS

#### 2.1. Muestreos

La evaluación del grado de contaminación de un cuerpo de agua, se lleva a cabo mediante la comparación de ciertos contenidos o propiedades respecto al **agua pura**; estos contenidos y propiedades se conocen a través de los **análisis** que se practican a un pequeño volumen de agua que representa al total de donde se toma. A este volumen se le denomina **muestra** y dada su finalidad debe ser lo más parecida a la de donde proviene. Para que lo anterior se cumpla, el muestreo tiene que hacerlo una persona especializada puesto que de ello depende el grado de veracidad que tengan los resultados del laboratorio para hacerlos extensivos a la fuente que representa, lo que ~~implica~~ también el cuidado en el manejo de las muestras hasta su llegada al laboratorio.

Las muestras aisladas, ya sea que se tomen en diversos sitios o en el mismo pero a diferentes tiempos y se analicen por separado, constituyen lo que se denomina una muestra simple.

Las formadas por varias muestras simples en un solo volumen para analizar, son las muestras compuestas. Una muestra compuesta puede estar formada por porciones tomadas periódicamente en un mismo sitio durante 24 horas; muchas veces se pueden componer muestras individuales tomadas durante períodos de 1, 2 o 4 horas. También es usual formar muestras compuestas de tomas simples en diversos sitios, independientemente del tiempo, como las que se toman longitudinalmente en un río o de un plano superficial en un lago; así como las de diferentes profundidades para conocer un promedio en una sección cualquiera.

El volumen de agua por muestra está en función del tipo y número de análisis a que se someterá; en general basta con 4 litros pero debe preverse su volumen de antemano tanto para evitar faltante como para no transportar sobrantes.

La muestra compuesta de un río, canal o agua corriente, deberá estar integrada por volúmenes proporcionales al caudal en el momento de la toma simple; una vez terminado el ciclo del muestreo, el volumen total puede ser reducido al necesario para efectuar los análisis previstos.

Las muestras deben registrarse desde su toma e indicar cierta información como la siguiente:

- Identificación de la estación de muestreo
- Sitio muestreado
- Nombre del muestreador
- Fecha
- Hora de la toma
- Temperatura del agua
- Temperatura ambiente
- pH
- Condiciones meteorológicas notables
- Lectura de la escala de niveles
- Caudal de la corriente
- Observaciones importantes

La lista puede reducirse o ampliarse según sea el fin del muestreo; pero en general la información anterior puede considerarse como la mínima indispensable para auxilio

del resultado analítico.

Las porciones individuales se deben tomar en frascos de boca ancha y de capacidad no menor a 300 ml. Si se necesitaran preservativos, éstos se agregan al tomar la muestra inicial.

Los frascos para muestra se limpiarán cuidadosamente antes de usarse, operación que se hace desde el laboratorio como preparativo del muestreo. Antes de llenar el frasco con la muestra, se procede a enjuagar con la misma agua que se va a analizar.

Los detalles de recolección son variados y dependen de las condiciones locales; en general se procurará obtener una muestra representativa, lo que implica definir con toda precisión el sistema de recolección y los aparatos muestreadores por usar.

Para análisis físicos y químicos de muestras superficiales, basta usar el frasco mismo de envío a laboratorio o mejor tomarla con un recipiente y vaciarla al frasco. El recipiente en muchas ocasiones es una simple cubeta atada a una cuerda para facilitar la toma. Cuando se trata de obtener una muestra a cierta profundidad o del fondo, se usan aparatos que se sumergen y destapan a la profundidad deseada. Existen diversos tipos que cumplen con esos requisitos; uno muy empleado para tomas en aguas dulces es el mostrado en la Figura N° 6.



FIGURA N° 6. Muestreador a profundidad

Para análisis biológicos la toma es más delicada. Al determinar el NMP de coliformes el volumen es de apenas unos 100 ml. pero obtenida bajo condiciones de extrema precaución para evitar contaminación adicional proveniente muchas veces del propio personal muestreador. En ríos o corrientes la boca del frasco debe quedar hacia aguas arriba para que el propio frasco y la mano del personal queden corriente abajo. En lagos o aguas en reposo esta misma operación se efectúa con un movimiento hacia adelante.

Para observación microscópica de plancton, la muestra puede ser tomada del volumen para análisis físicos y químicos pero en otros casos se emplean aparatos especiales que van efectuando un filtrado directo para su concentración.

Mientras menor tiempo transcurra entre la recolección y el análisis, mayor será la confianza en los resultados. Para ciertos constituyentes y valores físicos se requieren análisis inmediatos en el campo, ya que la composición de la muestra puede variar rápidamente. Las determinaciones de temperatura, pH y gases disueltos siempre deben realizarse en el campo, porque los cambios son casi inevitables debido al tiempo de llegada al laboratorio.

Como medida de precaución para reducir los cambios producidos por la proliferación de organismos se sugiere mantener la muestra en la obscuridad y a baja temperatura. Los siguientes límites son los recomendados para muestras de análisis físicos y químicos:

Aguas no contaminadas	72 horas
Aguas ligeramente contaminadas	48 horas
Aguas contaminadas	12 horas

Se pueden permitir mayores períodos que los mencionados si se preservan las muestras con ácidos o germicidas, aunque es preferible evitarlos porque en general interfieren con los análisis. Posiblemente el mejor método para mantener una muestra inalterada hasta por 24 horas, sea el almacenamiento a bajas temperaturas (4° C). Si se manejan a la temperatura ambiente, el resultado puede variar del 10

## 22 Evaluación, efectos y solución de la contaminación de aguas

al 40 por ciento en solo 6 horas para algunas pruebas.

Se especificará en el informe de laboratorio el tiempo transcurrido entre la recolección y el análisis, así como el tipo de preservativo agregado en caso de que se haya aplicado alguno.

Cuando no se puedan practicar inmediatamente los análisis de lodos de aguas negras o sedimentos, se preservarán con la adición de 5 g. de benzoato de sodio o 1 ml de  $H_2SO_4$  concentrado por cada 80 g de muestra, considerando la interferencia que pueda verificarse como cuando se desea determinar el contenido de grasa por ejemplo.

Para exámenes físicos y químicos de desechos industriales, el muestreo y el análisis requieren de mayor cuidado y atención que para las operaciones similares con otras aguas. Los desechos industriales están sujetos a cambios bruscos en pocos minutos influenciados por diversas causas como por derrames, descargas y purgas, por lo que la hora y día en que sucede debe detectarse a través de muestreos continuos mantenidos durante períodos prolongados tales como una semana.

Para embarque los frascos se deben empacar en cajas de madera, de plástico o de cartón con compartimientos separados para cada frasco. Las cajas se pueden revestir con cartón corrugado, fieltro u otro material elástico para evitar roturas; en algunos casos pueden proveerse de esquineros con resortes. Los frascos de polietileno son más seguros en este sentido.

### 2.2. Laboratorios

Las muestras de agua pueden ser llevadas a un laboratorio fijo, que es un local en donde se cuenta con toda clase de aparatos para realizar las pruebas requeridas a fin de conocer la calidad de las aguas. Los laboratorios fijos están dotados de toda clase de sustancias químicas

necesarias, aparatos medidores de las condiciones físicas, microscopios para el análisis biológico, cristalería de toda clase para reacciones, incubaciones y conservación de muestras, estufas, filtros, etc. Algo de este material se muestra en la Figura N° 7.

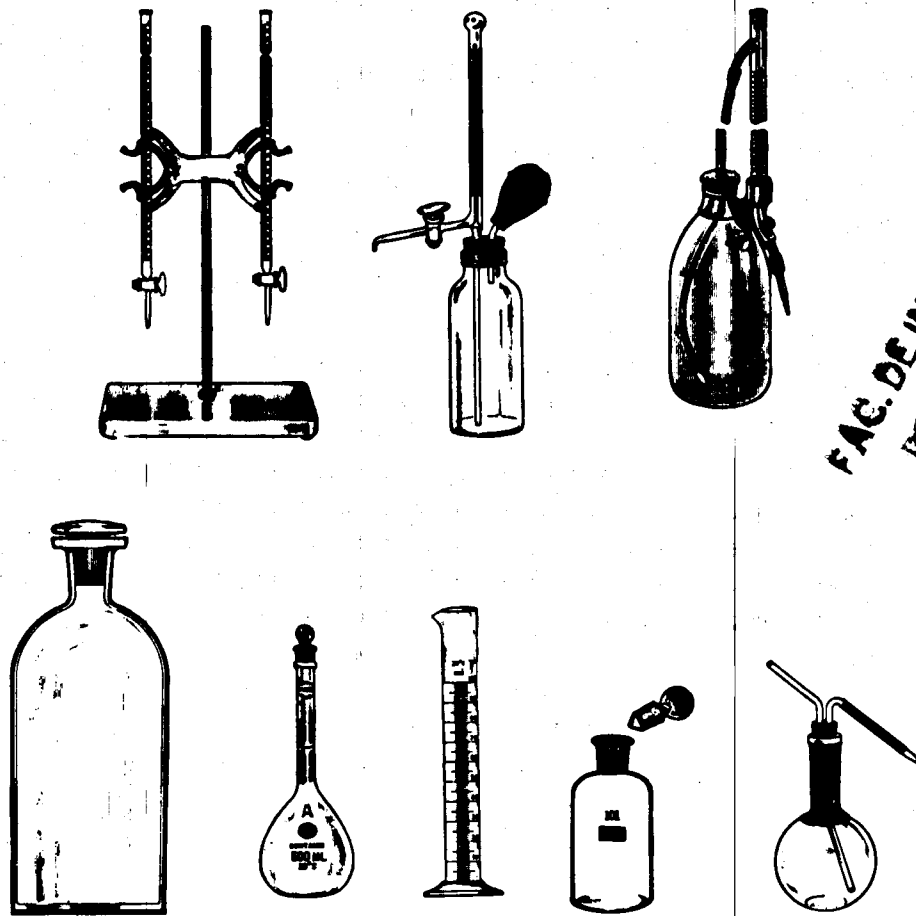


FIGURA N° 7. Material y equipo común en análisis de aguas

Cuando por razones de tiempo y distancia ya no convenga hacer el envío de muestras a un laboratorio de tipo fijo, se requerirá montar uno de los llamados móviles que se instalan en la parte más conveniente y cercana a la región de muestreo, equipado con los aparatos mínimos para realizar análisis y pruebas rutinarias. En algunas ocasiones se emplean camiones o camionetas adaptados con planta de energía eléctrica, tanque de agua, mesas, vidriería y todo lo indispensable para su actividad. Este vehículo se mueve conforme se cambia de lugar o se instala en un sitio cercano al lugar de trabajo por temporadas más largas. Para importantes estudios en el área marina o lacustre se hace lo mismo con barcos que sirven de laboratorios y desde donde se toman las muestras.

El laboratorio móvil es bastante cómodo debido a las ventajas que reporta para el pronto análisis de las muestras, pero resulta más oneroso que uno fijo debido a su alto costo de mantenimiento y conservación.

También se utilizan con frecuencia los laboratorios portátiles que están constituidos por los aparatos y sustancias que pueden ser transportados directamente por el muestreador y que sirven para realizar pruebas en el lugar de toma de la muestra, ya sea para determinaciones rápidas o para cualquier determinación importante requerida en un tiempo corto. Son ideales para obtener resultados inmediatos durante la visita a las estaciones de muestreo. Deben ser ligeros y seguros.

### 2.3. Sitios de muestreo

Gran parte del éxito del estudio sobre contaminación de aguas se debe tanto a la selección de los parámetros por analizar, como a la definición del sitio del cual se tomen las muestras.

Son decisiones que debe tomar el ingeniero para obtener con la mínima inversión de tiempo, personal y capital el máximo provecho del trabajo a realizar.

Desde el gabinete se deben definir los focos principales de contaminación, sentidos de escurrimientos, caudales, distancias, velocidades de recorrido, etc. que permitirán definir en plan preliminar el número y ubicación de los sitios de muestreo.

Una visita al sitio corroborará el proyecto, aprovechando la oportunidad de referenciar con detalle cada lugar seleccionado. Debe considerarse la seguridad de obtener la muestra en toda época del año o por lo menos dentro del lapso de desarrollo de la investigación.

Preferentemente se escogerán en el caso de ríos, puentes que faciliten la obtención de las muestras sin riesgos de ninguna especie o las instalaciones de estaciones de aforo. En el caso de lagos, prever el uso de lanchas.

Los primeros resultados de los análisis darán la pauta para reorganizar los sitios de muestreo, eliminando a los que den resultados iguales o con poca variación respecto a sus vecinos.

#### 2.4. Ejercicios

- 1) Investigue sobre aparatos muestreadores y las técnicas respectivas empleadas para análisis de aguas. Desarrolle un trabajo escrito con la información recabada incluyendo lo que considere relacionado con el tema.
- 2) Comente lo que se relaciona con el muestreo, como errores cometidos, variedad de aparatos según necesidades y operación, sistemas manuales y automáticos, equipo y personal auxiliar.
- 3) Describa cualquiera de los aparatos comunes empleados en un laboratorio, indicando su uso, manejo, precauciones, etc. Ejemplo: potenciómetros, medido-



res de conductividad eléctrica, equipo para determinación de Nitrógeno, estufa para determinación de DBO, etc.

- 4) De un plano en que aparezca un lago o el vaso de cualquier presa, identifique los sitios de muestreo si se requiriera conocer la calidad del agua del río y el cambio que se realiza por efecto de almacenamiento.

## CAPITULO 3

### ANALISIS A LAS AGUAS CONTAMINADAS

#### 3.1. Generalidades

Según sea el uso del agua, se han adoptado normas de calidad que fijan límites a ciertos contenidos considerados ofensivos. En cuanto al agua potable, en general cada país tiene sus normas, que en ocasiones son las reconocidas por la Organización Mundial de la Salud; sin embargo existen variaciones, no solamente de un país a otro, sino de uno mismo como sucede en los Estados Unidos de Norteamérica, en que varios de sus estados cuentan con normas propias.

La calidad a través de los contenidos de elementos y sustancias en el agua, se pueden conocer si se llevan a cabo exámenes minuciosos que den resultados cualitativos y cuantitativos de cada uno de ellos. De aquí que la evaluación de la contaminación solo se concibe si se especifica el uso o destino del agua y se llevan a cabo los análisis necesarios para conocer sus contenidos. Entre los diferentes análisis existentes para determinar los parámetros que definen el grado de contaminación se encuentran los físicos,

químicos y biológicos.

Es importante que al analizar las aguas contaminadas se determinen los constituyentes que puedan dificultar su tratamiento así como los que faciliten la elección del proceso más conveniente. Se deben hacer análisis de muestras del líquido en estudio, para comprobar el grado de contaminación y posteriormente análisis para ver el progreso, ya sea de contaminación o de depuración, bien esta última sea natural o a base de un proceso acelerado.

Para realizar los análisis de aguas es muy importante lo referente al muestreo, ya que un punto básico es que éstos sean representativos del volumen del agua del cual se obtienen. Es conveniente por lo tanto que la recolección de muestras se haga en la forma más cuidadosa y eficiente siguiendo las reglas y métodos establecidos.

Dependiendo de las características del examen del agua cada muestreo es diferente, incluyendo su forma de recolección, cantidades de muestras, tipos de envases, limpieza de los mismos, etc; todos estos factores cambiarán si los exámenes se hacen de agua con poca o abundante contaminación, si son aguas negras, efluentes de plantas de tratamiento o solamente desechos industriales.

### 3.2. Analisis

Los análisis dan por resultado las cantidades que contiene el agua de lo que se determina. Para efectos comparativos, independientemente del laboratorio, personal o procedimiento empleado, se han establecido unas normas que han adoptado la gran mayoría de los países en algunos casos con ligeras modificaciones; éstas son las publicadas por varias asociaciones de los Estados Unidos de Norteamérica bajo el título de Métodos Estándar para Análisis de Aguas y Aguas Negras<sup>(15)</sup>.

No se dan detalles de procedimientos ni preparación

de reactivos porque el fin de esta información es solamente tener idea de lo que se puede hacer y pedir a un laboratorio con objeto de, posteriormente, hacer el estudio interpretativo de los resultados.

Al indicar el método que se sigue en el campo y en el laboratorio para la determinación de algunos parámetros, se ha considerado que en ocasiones el ingeniero mismo los puede efectuar. Para otros, es que debe conocerlos para apreciar el grado de confiabilidad de los resultados, el tiempo de elaboración, necesidades técnicas en cuanto a personal especializado, uso de equipo y aparatos específicos, costos, manejo de las muestras, así como para definir el tipo y cantidad de análisis por realizar de acuerdo a la investigación y fines que se persiguen.

En un estudio preliminar de carácter cualitativo, muchas veces es suficiente definir los parámetros más simples sin llegar a emplear técnicas ni equipo especial. Tal ocurre cuando se efectúa por primera vez una visita al lugar de trabajo en que deben comenzarse a fijar los sitios de muestreo. Basta entonces con efectuar pruebas tales como temperatura, pH, turbiedad, color, olor, materia flotante y sólidos sedimentables.

La importancia de las pruebas de laboratorio, estriba en ayudar a formar una opinión acerca de lo adecuado que pudiera resultar el agua de una fuente de abastecimiento para un uso determinado. El agua en estudio puede tener caracteres físicos, químicos y biológicos que en conjunto determinan la cuantificación de contaminación de acuerdo con los análisis respectivos.

El análisis de agua comprende además un examen microscópico, considerado tan importante y preciso como las determinaciones químicas. Por lo tanto se observa que para una correcta interpretación y valoración del grado de contaminación de una agua, es necesario hacer una serie de análisis de tipo físico, químico y biológico durante un tiempo que incluya los cambios climatológicos extremos.

30 Evaluación, efectos y solución de la contaminación de aguas

Cualesquiera que sean los parámetros seleccionados, es siempre necesario conocer los valores medios y extremos, datos que no puede proporcionar un análisis aislado.

Los análisis que se piden hacer al agua de desecho, según los objetivos del estudio, forman una larga lista<sup>(16)</sup> que conviene dividir en:

a) Físicos que comprenden

- Temperatura
- Color
- Olor
- Turbiedad /
- Residuos en todas sus formas /
- pH
- Conductividad Eléctrica /
- Radiactividad

b) Químicos entre los que se hallan

1) Gases disueltos

- Amoniaco
- Dióxido de Carbono
- Sulfuro de Hidrógeno
- Nitrógeno
- Oxígeno
- Dióxido de Azufre

2) Cationes ( $e^+$ )

- Aluminio
- Amonio
- Bario y Estroncio
- Calcio y Magnesio
- Cromo
- Cobre
- Ión Hidrógeno
- Hierro
- Sodio y Potasio
- Plomo
- Manganeso
- Níquel
- Zinc

3) Aniones ( $e^-$ )

- Bromo y Yodo
- Carbonato y Bicarbonato
- Cloruro
- Cromato y Dicromato
- Cianuro
- Fluoruro
- Hidróxido
- Nitrato
- Nitrito
- Fosfato

Sulfato  
Sulfuro  
Sulfito

4) Varios

Acidez y Alcalinidad  
Demanda Química de Oxígeno  
Dureza  
Nitrógeno Kjeldahl  
Nitrógeno Orgánico  
Grasas y Aceites  
Fenol  
Sílice  
Detergentes

c) Biológicos que comprenden

Demanda Bioquímica de Oxígeno  
Demanda Inmediata de Oxígeno Disuelto  
Bacteriología  
Insectos  
Peces  
Toxicidad aguda para peces de agua dulce  
Plancton

Los factores que se describen a continuación son los principales y los que más frecuentemente se solicitan para interpretar con ellos la calidad del agua dentro de los niveles que requiere el ingeniero.

3.3. Parámetros físicos

Un aspecto físico muy común es el sabor que no se describe por no ser prueba recomendable de hacer, ya que si se está buscando contaminación, el probar el agua puede resultar perjudicial al organismo; se hace en pruebas de potabilidad, pero se hace teniendo la certeza de que es agua que se está valorando para uso potable. No solamente es aconsejable dejar de hacer esta prueba, sino que ni siquiera debe existir contacto directo con el agua, por no saber el grado de corrosividad que posea y qué sustancias tóxicas a la piel pueda contener.

### 3.3.1. Temperatura

El agua de corrientes o superficial en general, adquiere la temperatura del ambiente y su variación con respecto a éste es muy poca. Está sujeta al clima local, época del año y hora del día. También influye la profundidad a la que se tome la muestra.

La variación de la temperatura puede indicar principio de contaminación, pudiéndose afectar las actividades biológicas, la solubilidad de los gases y la viscosidad del agua que influye sobre la sedimentación. La temperatura del agua contaminada tiende a ser mayor que la natural en el mismo medio. El agua negra de una población se compone de los desechos del agua con temperatura normal, más la de los baños, calderas y efluentes industriales que generalmente son desalojados con altas temperaturas. Es más fácil encontrar una agua contaminada con temperatura elevada que con temperatura baja respecto a la media normal.

La medición de la temperatura es una de las pruebas que tiene que hacerse forzosamente en el campo. Se mide con un termómetro de laboratorio que tiene una precisión apreciativa de  $\frac{1}{10}$  de grado, aunque es suficiente con indicarla con aproximación de medio grado.

Hay diversos tipos de termómetros para tomar la temperatura en las aguas, que se emplean según la investigación o las condiciones del medio. Basta y se recomienda usar de preferencia un termómetro de laboratorio que se sumerge en el agua hasta la marca que tiene para ese objeto. Dado que algunas veces no se puede hacer de esa manera, la muestra se saca en un frasco y de allí es de donde se toma; el error que se pudiera cometer al hacerlo así, es despreciable. Para detectar contaminación, es conveniente conocer la temperatura en varios sitios.

### 3.3.2. Color

El tono del agua es muy diferente entre las corrientes variando aún en una misma; puede observarse desde el crista-

lino hasta el gris casi negro. La variedad en el color causa sospecha de contaminación, sobre todo cuando se observa que es diferente al natural.

Los colores en aguas contaminadas se pueden deber a descargas de tipo industrial, no olvidando que existen sustancias incoloras que pueden producir los mismos o peores efectos de contaminación.

El color natural del agua es ocasionado generalmente por el humus de los bosques o la materia vegetal. Se denomina color verdadero del agua aquél que está presente despues de haber sido removida la materia suspendida; y color aparente, al verdadero modificado por materia en suspensión.

a) Determinación en el campo

Se usan cristales de colores montados en discos que permiten comparar éstos sobre agua destilada con la muestra directa. Es procedimiento aceptado como prueba estandar de campo<sup>(15)</sup> porque dan buenos resultados si se comparan con el método de Platino-Cobalto usado en laboratorio. Estos discos se colocan en bases metálicas que contienen tubos para la muestra y para el agua destilada. Los discos coloreados equivalen a 5, 10, 20, 40 y 70 unidades estándar de color; si se combinan pueden obtenerse valores entre 5 y 145 unidades.

b) Determinación en laboratorio

Se emplea el método de Platino-Cobalto que consiste en una escala preparada para definir unidades conocidas, usando tubos de Nessler de 50 ml de forma alta. La escala se prepara a base de cloroplatinato de potasio y cloruro cobaltoso cristalizado, diluidos en agua destilada en proporciones establecidas para que observada a través de una lámina de 200 mm, den la coloración estándar deseada. En caso de que se tuviera una agua que excediera las 70 unidades, la muestra se diluye con agua destilada hasta que esté dentro de los límites recomendados; el factor de dilución se multiplica posteriormente por las unidades



34 Evaluación, efectos y solución de la contaminación de aguas observadas para obtener el resultado real.

### 3.3.3. Olor

En general el olor se debe a la presencia de materia orgánica en descomposición o a compuestos químicos como son los fenoles; si además el agua contiene cloro, la intensidad del olor aumenta. Hay olores específicos en lagos, ríos, mares, canales, etc. que pueden distinguirse del olor producido por contaminación, siendo factible no solamente diferenciarlo sino medirlo.

La intensidad del olor es muy variable y los procedimientos analíticos no son satisfactorios para su medición, teniéndose que confiar en el sentido del olfato que es muy variable de acuerdo con la persona; considérese además que este sentido se atrofia rápidamente.

Sería ideal que las pruebas para el olor se realizaran inmediatamente después de la recolección, pero si no es posible, se deben almacenar unos 500 ml de muestra en frascos de cristal con tapón esmerilado, conservándolos en refrigeración hasta el momento del análisis. El enfriamiento debe hacerse en condiciones inodoras.

Para aguas contaminadas basta una apreciación burda de esta prueba, siendo suficiente con indicar a qué huele y su intensidad en grados que van de ligero hasta ofensivo. Para casos muy especiales se siguen los procedimientos de laboratorio que llegan a definir el número del olor incipiente.

En cuanto a la escala de intensidad que normalmente se emplea en estudios limnológicos y que se puede aplicar a las aguas contaminadas, es la que se indica en la Tabla Nº 8<sup>(17)</sup>.

Respecto a la calidad del olor, se acostumbra referirlo a lo más parecido para compararlo; así se tiene la nomenclatura que como ejemplo se muestra en la Tabla Nº 9.

Es conveniente que en el informe del análisis se indique la clave adoptada y que se escojan referencias

lo más comunes posible.

TABLA N° 8  
INTENSIDAD DE OLOR

VALOR NUMERICO	ESCALA	DEFINICION
0	Nulo	No se aprecia olor
1	Muy ligero	Olor que algunas personas no lo detectan pero perceptible por un experto.
2	Ligero	Cuando es notable pero no se le atribuye atención especial.
3	Distinto	Cuando se detecta inmediatamente y provoca deseo de retiro.
4	Decidido	El que atrae sin querer la atención y que objeta el manejar el agua.
5	Muy fuerte	Si provoca el rechazo inmediato.

TABLA N° 9  
CALIDAD DE OLORES

CLAVE	OLOR	ANALOGIA
A	Aromático	Alcanfor, clavo, limón
p	Pepino	Pepino
B	Balsámico	Geranio, violeta, vainilla
M	Mastuerzo	Mastuerzo
D	Dulzón	Azucarado
Q	Químico	Desechos industriales
C	Cloro	Cloro libre
Me	Medicinal	Fenol, yodoformo
S	Sulfhídrico	Huevos podridos
P	Pantano	Turba, charcos
Pa	Pasto	Pasto recién cortado
V	Vegetal	Legumbres

Fuente: Whipple (1954)

### 36 Evaluación, efectos y solución de la contaminación de aguas

Se llama número de olor incipiente, al número de veces que una muestra se tiene que diluir con agua inodora para que su olor sea apenas perceptible en la prueba del olor. Se acostumbra que el volumen total de la muestra y del agua de dilución sea de 200 ml. El número de olor incipiente se calcula de la forma siguiente:

$$\text{Núm. Olor Incipiente} = \frac{\text{Vol. muestra} + \text{Vol. agua Inodora}}{\text{Vol. de muestra}}$$

Se puede considerar como número incipiente el que corresponde al punto de percepción a partir del cual se tengan solo resultados positivos una vez ordenadas las respuestas respecto al incremento de concentración.

La temperatura adecuada para las pruebas de olor es de 60°C para el olor incipiente en caliente y de 40°C para el olor incipiente en frío. Es necesario registrar la temperatura a la que se haya hecho la prueba.

#### 3.3.4 Turbiedad

Las aguas contaminadas, normalmente son turbias porque contienen mayor o menor cantidad de materia sólida, ya sea fija, volátil o sedimentable. Las pruebas de turbiedad se pueden hacer tanto en el campo como en el laboratorio.

##### a) Determinación en el campo

Dependiendo de la corriente o del tipo de agua, se usa un disco de 20 cm. de diámetro dividido en cuadrantes pintados de blanco y negro<sup>(17)</sup> sujeto al extremo de una barra o cable. Este disco denominado de Secchi, se sumerge en el agua hasta que desaparezca la imagen; la barra que lo sostiene tiene una graduación que da la turbiedad en función de la longitud del tramo sumergido. La función del disco Secchi es medir la penetración de la luz en el agua; sin embargo se puede usar con buenos resultados considerando la penetración de la luz como función del

grado de turbiedad o de color.

Cuando no se cuenta con este disco, se usa un alambre de platino bien pulido con el cual se sigue el mismo método de medición observando la desaparición del brillo del alambre al sumergirlo. La graduación de la barra está dada directamente en U.T. o hecha de tal manera que se pueda relacionar. El resultado es semejante al obtenido mediante el disco y con igual calidad. La turbiedad que mide según la profundidad, se indica en la Tabla N° 10.

TABLA N° 10

TURBIEDAD CON EL ALAMBRE DE PLATINO

TURBIEDAD ppm	PROFUNDIDAD mm	TURBIEDAD ppm	PROFUNDIDAD mm	TURBIEDAD ppm	PROFUNDIDAD mm
7	1 095	28	314	120	86
8	971	30	296	130	81
9	873	35	257	140	76
10	794	40	228	150	72
11	729	45	205	160	68.7
12	674	50	187	180	62.4
13	627	55	171	200	57.4
14	587	60	158	250	49.1
15	551	65	147	300	43.2
16	520	70	138	350	38.8
17	493	75	130	400	35.4
18	468	80	122	500	30.9
19	446	85	116	600	27.7
20	426	90	110	800	23.4
22	391	95	105	1 000	20.9
24	361	100	100	1 500	17.1
26	336	110	93	2 000	14.8
				3 000	12.1

Fuente: Whipple (1954)

b) Determinación en el laboratorio

Es deseable que la prueba se verifique el mismo día de la recolección pero si esto no fuera posible, la muestra se conserva en la oscuridad hasta por 24 horas; si fuera necesario más tiempo se agrega 1 g. de cloruro mercúrico

### 38 Evaluación, efectos y solución de la contaminación de aguas

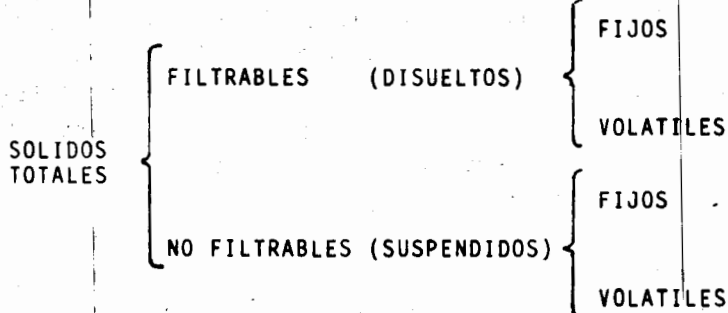
por litro. En ambos casos, antes de hacer el análisis la muestra se debe agitar. Para la determinación se usan aparatos denominados turbidímetros. El turbidímetro de Jackson que es el más usado y sirve de patrón, consiste en un tubo de vidrio, largo y graduado que se coloca en un soporte encima de una vela especial de esperma de ballena que no produce humo y que tiene una intensidad fija a 7.6 cm abajo del fondo del tubo de cristal. Al inicio se le pone un poco de agua por analizar para que no se dañe con el calor producido por la flama; a continuación se vierte poco a poco el agua hasta que ya no se vea por encima del tubo la concentración luminosa de la vela. Entonces se leerá en la graduación del tubo la turbiedad del agua muestreada.

El turbidímetro de Jackson se usa para aguas con turbiedad entre 25 y 5,000 unidades. Para valores mayores de 1,000 unidades se debe diluir la muestra con uno o varios volúmenes iguales de agua destilada. La turbiedad original de la muestra se calcula partiendo de la turbiedad de la dilución y del factor empleado.

Existen otros turbidímetros como los de Balys, St. Louis y Hallige que se emplean para turbiedades menores de 5 unidades y trabajan con el principio de la luz dispersa (Véase Figura N° 8). En todos estos aparatos los tubos que se usan son incoloros y transparentes; deben estar escrupulosamente limpios. La muestra se deja reposar dentro del recipiente el tiempo suficiente para dejar escapar las burbujas de aire que se forman al verterla.

#### 3.3.5 Residuos

Cuando se tienen problemas relacionados con aguas contaminadas, un parámetro indispensable es el de residuos o sólidos contenidos. Según se trate de evaluar el grado de contaminación, el empleo del agua o proceso de tratamiento, será el tipo de residuo que se analice, ya que de éstos se tiene la siguiente variedad:



Se define como residuo total al material que queda en un recipiente después de la evaporación de una muestra de agua y de su secado subsecuente en estufa a una temperatura definida. El residuo que se retiene al paso de un filtro se denomina no filtrable y al que pasa filtrable; se conocen también como suspendido y disuelto respectivamente, pero son más apropiados los primeros nombres. La temperatura a la que se seca el residuo influye en los resultados; así se llegan a determinar los residuos fijos que son el remanente después de la calcinación a 600°C durante 10 a 15 minutos. La diferencia con el total es el residuo volátil; estos residuos pueden considerarse, aunque no con entera precisión, como el equivalente a los contenidos minerales y orgánicos respectivamente.

La materia sedimentable también se determina bien sea en volumen (ml/l) o en peso (mg/l); es aquella que se detecta después de dejar en reposo al agua durante una hora.

#### Determinación.

Los residuos totales se obtienen al evaporar generalmente 100 ml de la muestra a 103°C en una cápsula seca y tarada, operación que se realiza en una hora. La diferencia de pesos entre el registrado para la cápsula seca y limpia y el de la cápsula que contiene los residuos, dará el contenido de este material que después se transforman a mg/l de acuerdo al volumen evaporado.

40 Evaluación, efectos y solución de la contaminación de aguas

Los residuos totales volátiles y fijos se determinan calcinando los residuos totales de evaporación a  $550 \pm 50^\circ\text{C}$  en una mufla durante 10 a 15 minutos; nuevamente por diferencia de pesos se conocen los contenidos. Directamente con la diferencia se conoce la parte fija y el resto al peso original, la volatil.

La materia suspendida se determina por filtración a través de una capa de fibra de vidrio de unos 2 mm. de espesor sobre el fondo perforado de un crisol Gooch. Se requiere de un succionador para acelerar el paso de 100 ml de muestra. Una vez seco el crisol, se determina por diferencia de pesos el contenido de los sólidos.

La materia suspendida volátil y fija se determina calcinando el crisol Gooch a  $550^\circ\text{C}$  durante 15 a 20 min.

La materia sedimentable generalmente se determina en ml/l usando el cono Imhoff y un litro de muestra. Se deja en reposo 45 min. después de los cuales se agita ligeramente para desprender los sólidos retenidos en la pared del cono y después de 15 min. para completar una hora, se hace la lectura de los sólidos sedimentados directamente sobre la graduación del cono. La Figura Nº 9 muestra parte del material descrito.

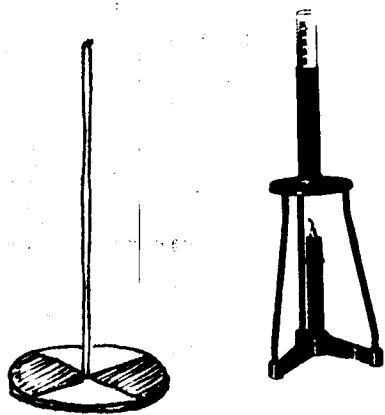


FIGURA Nº 8. Turbidímetros

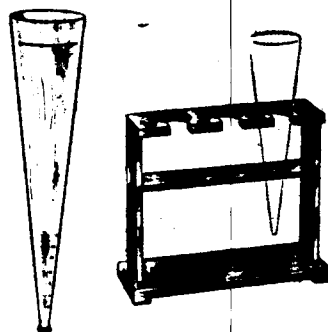


FIGURA Nº 9. Material para determinar sólidos

## 3.3.6 pH

El pH interviene en el cálculo de carbonato, bicarbonato y bióxido de carbono, así como para el índice de corrosión; es indispensable para el control de muchos procesos de tratamiento de agua.

En el agua pura el producto iónico es:

$$[H^+][OH^-] = k_w = 1.01 \times 10^{-14} \quad (\text{a } 25^\circ\text{C})$$

$$[H^+] = [OH^-] = 1.005 \times 10^{-7}$$

$[H^+]$  es la concentración de iones Hidrógeno en moles/l  
 $[OH^-]$  concentración de iones oxhidrilo en moles/l  
 $K_w$  constante de ionización del agua

Si se emplea una escala logarítmica:

$$(-\log_{10} H^+) + (-\log_{10} OH^-) = 14$$

que se expresa así:

$$pH + pOH = pk_w$$

p es la potencia o exponente

El valor que corresponde al agua pura y que representa el punto neutro es pH=7. En la escala de pH, de 0 a 7 se agrupan los ácidos y de 7 a 14 las bases.

La determinación del pH es útil para regular el funcionamiento de instalaciones de tratamiento de aguas contaminadas; tiene poca relación con la fuerza o concentración de las aguas negras. En casos especiales el pH de un desecho industrial puede dar indicios con respecto a su naturaleza; una alcalinidad o acidez anormal es producto de este tipo de desechos. Por lo general las aguas negras tienden a la basicidad pero influyen los efluentes industriales, sobre todo cuando éstos son de cierta magnitud respecto a los desechos domésticos.



## 42 Evaluación, efectos y solución de la contaminación de aguas

### a) Determinación en el campo

Se usa el método colorimétrico en el que se emplean tiras de papel tornasol, las cuales al contacto con el agua toman colores variables dependiendo de la acidez o basicidad y su intensidad. Todos estos colores vienen impresos en la propia caja que contiene al papel. Por comparación directa o intermedia entre los colores, se determina el valor del pH. Este método da una idea solamente de los valores del pH. No es exacto debido a las interferencias producidas por color, turbiedad, materia coloidal y cloro libre entre otras, pero para fines prácticos en problemas de contaminación y en pruebas de campo, es suficiente conocerlo de esta manera.

### b) Determinación en laboratorio

Se usan los medidores con electrodos de cristal, ya sean de corriente o de pilas; se les denomina potenciómetros. Con este método no existen las interferencias del colorimétrico, pero se tiene el error producido por la presencia de sodio, que se puede reducir empleando electrodos especiales de bajo error para ese elemento; esto sucede cuando el pH es mayor de 10.

Para utilizar el aparato debe comprobarse antes con soluciones amortiguadoras de valores intermedios de pH: 4, 7 y 9 previamente preparadas.

### 3.3.7 Conductividad eléctrica.

Mide la concentración de electrolitos. Debido a la conductancia tan alta que tienen los iones Hidrógeno u Oxhidrilo, se neutraliza el agua antes de hacer la medición. Aunque no es preciso, la conductividad eléctrica se relaciona con la concentración de sólidos disueltos y es proporcional a otros muchos parámetros como pH, turbiedad, color, etc. La temperatura también influye en el resultado, por lo que se mide a 25°C o se corrige por este concepto.

### Determinación

Se usa un Puente de Wheatstone que mide el paso de la corriente entre dos electrodos separados un centímetro y con una area de un  $\text{cm}^2$  manteniendo el agua a  $25^\circ\text{C}$ . La conductividad eléctrica o conductancia específica como también se le conoce, es la recíproca de la resistencia entre los electrodos; por tanto y debido a los valores normales tan bajos, se da en micro mhos/cm.

Para calibrar los aparatos de medición se usa una solución de cloruro de potasio 0.0100N que a  $25^\circ\text{C}$  tiene una conductividad eléctrica de 1,413 micro mhos/cm.

### 3.3.8. Radiactividad

La radiactividad debe medirse cuando haya sospechas de que el agua contenga desechos con ese tipo de contaminante. Existen aguas denominadas radiactivas con tan bajo contenido que solo llega a la que se detecta en la atmósfera y por tanto no afectan la salud. La Tabla N° 11 muestra una estimación de la radiactividad natural<sup>(18)</sup>

TABLA N° 11  
DOSIS ANUAL DE RADIACION NATURAL

FUENTE DE RADIACION	GONADICA Milirems	MEDULA OSEA Milirems
Rayos cósmicos	26 ± 3	26 ± 3
Tierra, vivienda	53 ± 20	59 ± 20
Atmósfera	2 ± 1	-
Radiactividad interna		
Rad. beta y gamma	18 ± 3	5 ± 1
Partículas alfa	5 ± 3	45 ± 20
Total	104 ± 21	135 ± 30

Fuente: Laughlin y Pullman

En México la Comisión de Energía Nuclear es la que se encarga de controlar los desechos de este tipo y no es común hallar contaminación por no ser de uso tan exten-

dido y por la correcta vigilancia que se tiene.

Los términos tolerable e inofensivo en problemas de radiación son tema de amplias discusiones, ya que en radiactividad, el daño que se produce al hombre está en relación a la concentración recibida y solo si fuera nula no causaría efecto. Esto toma importancia al estudiarse desde el punto de vista genético.

### 3.4. Parámetros químicos

El análisis químico proporciona datos útiles y específicos respecto al estado de descomposición y fuerza de las aguas negras o en corrientes contaminadas; son de gran utilidad para fines de tratamiento, evacuación y prevención de la contaminación por efluentes.

Solo se describen los factores que más influencia tienen en el conocimiento de la calidad del agua.

#### 3.4.1. Oxígeno disuelto.

La presencia de oxígeno disuelto en el agua es muy importante para que se lleve a cabo el proceso aeróbico de descomposición de la materia orgánica. Otra de las razones por las que se desea mantener oxígeno disuelto en el agua es para la preservación de los peces. Los peces viven bajo condiciones normales en aguas cuyo contenido de oxígeno disuelto sea igual o mayor de 5 mg/l; si tiene menos (por ejemplo 4), el pez puede vivir pero durante un tiempo relativamente corto si no se le restituye pronto. La concentración de oxígeno disuelto en las aguas puede también relacionarse con la corrosividad, con la actividad fotosintética y con el grado de septicidad que posean. Lo consume la materia orgánica al iniciar su transformación.

En el agua salada el oxígeno es menos soluble que en el agua dulce; en aguas negras la solubilidad es aproximadamente el 95 por ciento respecto al de aguas dulces, pero para problemas comunes se toman los valores que se obtendrían para aguas naturales.

La concentración del oxígeno disuelto en una muestra puede expresarse en miligramos por litro (mg/l); en partes por millón (ppm); o como porcentaje de la saturación. La cantidad presente en el agua está sujeta a las leyes físicas para líquidos y gases, en donde interviene en forma notoria la presión y la temperatura. La Tabla N° 13 contiene la cantidad de OD en el agua dulce al nivel del mar bajo presión atmosférica de 760 mm de mercurio, con 20.9 por ciento de oxígeno<sup>(17)</sup>. Cabe aclarar que existen otras tabulaciones con valores poco diferentes<sup>(15),(2)</sup>.

Para altitudes distintas al nivel del mar, se considera que la solubilidad es directamente proporcional a la presión. La Tabla N° 14 proporciona la relación de altitud con valores de columna de mercurio.

TABLA N° 13  
SOLUBILIDAD DEL OXIGENO EN AGUA DULCE  
A NIVEL DEL MAR

(cantidad de OD en el agua pura)

T (C)	OD (mg/l)	T (C)	OD (mg/l)	T (C)	OD (mg/l)
0	14.62	10	11.33	20	9.17
1	14.23	11	11.08	21	8.99
2	13.84	12	10.83	22	8.83
3	13.48	13	10.60	23	8.68
4	13.13	14	10.37	24	8.53
5	12.80	15	10.15	25	8.38
6	12.48	16	9.95	26	8.22
7	12.17	17	9.74	27	8.08
8	11.87	18	9.54	28	7.92
9	11.59	19	9.35	29	7.77
				30	7.63

Fuente: Whipple (1954)

En la Ciudad de México a una altitud de 2 200 m y a una temperatura media del agua de unos 20°C, la cantidad de oxígeno disuelto de saturación en el agua es de aproximadamente 7 mg/l.

La determinación de oxígeno disuelto es una de las

TABLA N° 14

## FACTOR DE CORRECCION PARA OXIGENO DE SATURACION A VARIAS ALTITUDES.

Altitud m	Presión mm Hg	Factor
0	760	1.00
100	750	0.99
200	741	0.97
300	732	0.96
400	723	0.95
500	714	0.94
600	705	0.93
700	696	0.92
800	687	0.90
900	679	0.89
1,000	671	0.88
1,100	663	0.87
1,200	655	0.86
1,300	647	0.85
1,400	639	0.84
1,500	631	0.83
1,600	623	0.82
1,700	615	0.81
1,800	608	0.80
1,900	601	0.79
2,000	594	0.78
2,100	587	0.77
2,200	580	0.76
2,300	573	0.75
2,400	566	0.74
2,500	560	0.73

Fuente: Hutchinson (1957)

pruebas más significativas, especialmente cuando se combina con la prueba de Demanda Bioquímica de Oxígeno y de estabilidad relativa. Es posible que diferentes estratos de una misma masa de agua, tengan distintas concentraciones de oxígeno, pudiéndose presentar putrefacción en el fondo y saturación en la superficie.

Las causas que afectan la solubilidad del oxígeno en el agua son: la turbulencia en la superficie; la temperatura; la presión atmosférica; el porcentaje de oxígeno

en la atmósfera; la deficiencia de oxígeno en el agua; el área de la superficie expuesta; y otras condiciones más que vale la pena estudiar en cada caso para hacer la evaluación según la naturaleza de la investigación.

La determinación del oxígeno disuelto es una de las pruebas que debe hacerse de inmediato por la pérdida o la ganancia que hay de acuerdo con el contenido de materia orgánica, tanto productora como consumidora de oxígeno. Por lo menos debe fijarse en campo y determinarlo posteriormente en laboratorio.

#### Determinación.

La descripción que se hace para conocer la cantidad de oxígeno disuelto en el agua, pudiera antojarse muy detallada; sin embargo es necesaria porque esta prueba se debe realizar en el mismo sitio de muestreo, por lo menos hasta fijar el oxígeno como yodo; tarea que en algunos casos recae en el propio ingeniero que efectúa la visita al lugar de muestreo.

Se usa el método básico de Winkler o de iodización con sus modificaciones para evitar interferencias; una de las más empleadas para aguas negras y muestras de ríos es la del nitrato que elimina la interferencia tan común de los nitritos<sup>(15)</sup>.

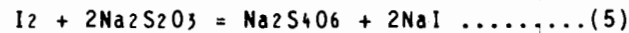
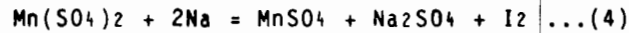
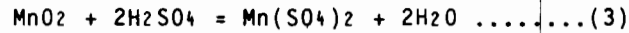
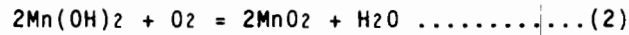
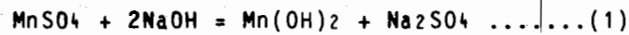
Este método se basa en el hecho de que el oxígeno oxida el  $Mn^{++}$  a un estado mayor de valencia, bajo condiciones alcalinas; y que el manganeso a un estado mayor de valencia, es capaz de oxidar el Ión Yodo ( $I^-$ ) a yodo libre ( $I_2$ ) bajo condiciones ácidas. Entonces la cantidad de yodo libre liberado es equivalente al OD originalmente presente. El yodo es medido con una solución de tiosulfato de sodio e interpretado en términos de OD.

Se procede a verter dentro de las botellas de recolección 1 ml de la solución preparada de  $MnSO_4$ ; a continuación el reactivo alcali-yoduro-nitrato. Se forma un precipitado debiéndose esperar hasta que se clarifique más o menos

48 Evaluación, efectos y solución de la contaminación de aguas

la mitad de la botella para añadir el ácido sulfúrico. Debe removerse el frasco varias veces para permitir la mezcla completa.

Las reacciones incluidas son las siguientes:



El precipitado que se forma es de color blanco; pero si hay oxígeno presente, entonces algo de  $\text{Mn}^{++}$  se oxida a una mayor valencia, precipitándose como un óxido hidratado de color café (Ec. 1).

La oxidación del  $\text{Mn}^{++}$  llamada a veces fijación del oxígeno, ocurre muy lentamente sobre todo a bajas temperaturas, razón por la cual es necesario remover el material floculado a través de toda la solución para permitir que reaccione todo el oxígeno (Ec. 2). Esto se logra agitando vigorosamente la muestra por lo menos durante 20 segundos. Después de agitada la muestra, se permite la sedimentación del flóculo hasta unos 5 cm abajo del tapón del frasco; en este momento se agrega el ácido sulfúrico (Ec. 3). A las condiciones resultantes de bajo pH (condiciones ácidas), el  $\text{MnO}_2$  oxida  $\text{I}^-$  para producir  $\text{I}_2$  (Ec. 4).

La muestra debe taparse y agitarse durante unos 10 segundos para permitir que se complete la reacción y se distribuya el yodo uniformemente en toda la muestra.

Se procede a la titulación con la solución 0,025Normal (0.025 N) de tiosulfato de sodio (Ec 5) agregando un poco de solución de almidón para afinar el punto de equilibrio.

Una solución 1 N es la que tiene disuelto en un litro de agua el peso equivalente expresado en gramos. A su vez, el peso equivalente es el molecular entre las valencia.

El uso de una solución 0.025 N =  $\frac{1}{40}$  N, se basa en lo siguiente:

La normalidad de la mayoría de los agentes que se usan para las titulaciones en los análisis sanitarios, está ajustada de tal manera que cada ml es equivalente a 1 mg de la sustancia medida, por lo que debe usarse una solución  $\frac{1}{8}$  N. de tiosulfato ya que el peso equivalente del oxígeno es 8. Sin embargo tal solución es demasiado concentrada para permitir determinaciones precisas de oxígeno disuelto a menos que se titulen muestras muy voluminosas. Es práctica común manejar muestras de 200 ml para la titulación sea  $\frac{1}{5}$  de litro, entonces empleando un agente con concentración de  $\frac{1}{5}$  como convencionalmente se usa, los resultados obtenidos en muestras de 200 ml en términos de mililitros de titulante usado, son los mismos que si un litro de muestra haya sido tratado con un reactivo  $\frac{1}{8}$  N eliminando la necesidad de cálculos.

Por otra parte, cuando se usan botellas de 300 ml para la prueba (Véase Figura Nº 10), se agregan 2 ml de  $MnSO_4$  y 2 ml de álcali yoduro como reactivos que desplazan 4 ml de muestra, por lo que debe hacerse una corrección. Cuando se agregan 2 ml de ácido, no se desplaza nada del flóculo oxidado, por lo tanto no necesita por este motivo ninguna corrección.

El factor de corrección por desplazamiento será:

$$\frac{300 - 4}{300} = 0.987 ; \frac{1}{0.987} = 1.014$$

Indica que debe tomarse para la titulación un volumen de

$$200 \times 1.014 = 203 \text{ ml}$$

### 3.4.2 Nitrógeno.

La descomposición del nitrógeno como componente de la materia orgánica, sigue un ciclo que es tan solo una concepción ideal, porque en la naturaleza existen muchos cortos circuitos y retrocesos que impiden la progresión continua del mismo. Se puede describir aproximadamente del siguiente modo:



A la muerte de una planta o un animal, se inicia la descomposición acompañada de la formación de urea, que se descompone a su vez en amoníaco. Esta se llama la fase de putrefacción del ciclo del nitrógeno. La fase siguiente es la nitrificación, en la que los compuestos amoniacales se oxidan para formar nitritos y nitratos y prepararse de este modo para servir de alimento a las plantas. En la fase de la planta viva, los nitritos y nitratos sufren la desnitrificación y de este modo son utilizados como alimento vegetal o animal. La fase superior del ciclo del nitrógeno es la vida animal en la que el nitrógeno forma parte de la sustancia del animal vivo o se transforma en urea, amoníaco, etc. por las funciones vitales del organismo animal. A la muerte del animal, el ciclo vuelve a comenzar.

En los análisis de aguas negras se pueden hacer cinco tipos de determinación de nitrógeno: amoniacal, orgánico o protéico, albuminoideo, nitritos y nitratos.

La presencia de amoníaco en el agua es frecuentemente interpretado como una contaminación reciente con productos nitrogenados; en aguas subterráneas puede provenir de la dilución de estratos que contengan sales amoniacales. Se considera de reciente contaminación su presencia porque rápidamente se oxida a través de ciertos organismos pasando a nitrato, pero con algún cambio del pH del agua.

Contenidos elevados de nitrógeno orgánico o protéico se relaciona con una contaminación de aguas negras o desechos industriales. El nitrógeno orgánico y el amoniacal integran el nitrógeno total.

El nitrógeno albuminoideo es una medida aproximada del nitrógeno de origen protéico derivado de la vida animal y vegetal de los medios acuáticos; en aguas contaminadas es índice de la materia orgánica desdoblada en aminoácidos, polipéptidos y proteínas.

Los nitratos provienen generalmente de la materia orgánica nitrogenada de origen animal; la materia vegetal libera muy pocos nitratos. Representa la fase final de

la oxidación del ciclo del nitrógeno.

Los nitritos se relacionan con una contaminación con aguas negras o desechos industriales, sujeta a oxidación puesto que el proceso continúa hasta terminar en nitratos.

### 3.4.3. Cloruros.

Los cloruros se deben a combinaciones del cloro con otros elementos; no deben ser confundidos con el cloro que se encuentra a menudo en forma residual en las aguas negras. Los cloruros son sustancias inorgánicas encontradas comunmente en la orina del hombre y de los animales; no son afectados por los procesos biológicos ni por sedimentación.

Los cloruros se hallan en aguas de las regiones costeras o en terrenos salinos. También se debe su presencia a contaminación con alimentos o con aguas negras; el cloruro de sodio es un artículo común de la dieta y pasa sin modificación a través del sistema digestivo. En las costas se pueden encontrar en altas concentraciones por las infiltraciones de aguas marinas en los sistemas de agua potable y alcantarillados. En altas concentraciones son tóxicos a las plantas.

Se confirma la contaminación del agua por la presencia conjunta con nitritos, nitratos y amoniaco.

### 3.4.4. Detergentes

Los detergentes son productos sintéticos ampliamente usados en los hogares y en las fábricas con fines de limpieza; en pocos años sustituyeron a los jabones en virtud de no formar precipitados insolubles pudiendo limpiar eficientemente aún empleando aguas duras.

En términos generales un buen detergente se caracteriza como una sustancia que es soluble en agua; que permite que la solución acuosa penetre en los capilares por abatir

32 Evaluación, efectos y solución de la contaminación de aguas

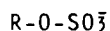
la tensión superficial (acción humectante); que desintegra o separa las partículas que se han aglomerado (acción dispersante); que incorpora la suciedad o el aceite al agua (acción emulsificante), en vez de hacerlo con las sustancias que se están limpiando.

Los **agentes activos superficiales o surfactantes** son constituyentes importantes de los detergentes sintéticos y pueden definirse como solutos que poseen la particularidad de alterar las propiedades superficiales o de interfase de las soluciones en una forma desusada, aún cuando se encuentren presentes en bajas concentraciones. Muchas sustancias solubles presentan estas propiedades pero no todos los surfactantes poseen un balance satisfactorio de propiedades detergentes. Desde el punto de vista de detergencia, el término surfactante implica un compuesto orgánico que combina las propiedades de humedecimiento, dispersión y emulsificación, presentando estabilidad hacia la dureza. Estas características varían desde luego con la naturaleza química de los agentes manufacturados.

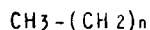
La composición de los detergentes es variada, pero en términos generales los productos comerciales contienen aproximadamente el 20 por ciento de agente surfactante activo, estando constituido el resto por los llamados "aditivos".

Los agentes surfactantes componentes de los detergentes pueden clasificarse según su ionización en el agua en aniónicos, catiónicos y no iónicos.

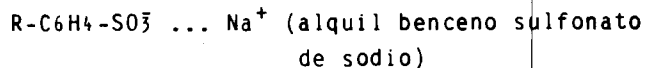
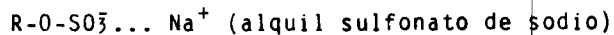
Los detergentes aniónicos ionizan las soluciones acuosas dando un grupo de cargas negativas o aniones<sup>(19)</sup>



R es una larga cadena de hidrocarburos tales como

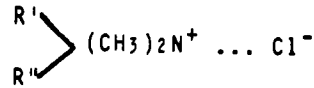


y una carga iónica positiva o catión que normalmente es el Na:



El grupo sulfonato es hidrofílico (o que atraen al agua) y ayudan a los detergentes en su solubilidad. La mayoría de los detergentes domésticos pertenecen a este grupo.

Los detergentes catiónicos son de bases orgánicas cuaternarias fuertes que ionizan dando una carga positiva hidrofóbica del amonio cuaternario o del grupo peridinium y una carga negativa hidrofílica



R' y R'' son largas cadenas de ión hidrocarbón. Tienen una fuerte acción contra bacterias y son usados para lavar algunos utensilios y equipo de hoteles, restaurantes y fábricas de alimentos.

Los detergentes no iónicos no ionizan en las soluciones acueas en forma importante. En general son mono, di, etc. ésteres de sacarosa con ácidos grasos C14-C18 (palmítico, esteárico, oléico, etc).

Los ésteres sacarosos son no tóxicos, insaboros y comestibles; se usan en cosméticos, jabones para rasurar, champús y en industrias de alimentos y farmacéuticas.

Todos los detergentes tienen la facultad de bajar la tensión superficial del agua, así como de disminuir su viscosidad (Véase Tabla Nº 15 (20)).

TABLA Nº 15  
VISCOSIDAD DINAMICA EN FUNCION DE LA  
TEMPERATURA

°C	0	5	10	15	20	25	30	35
mPa.s	1.797	1.523	1.301	1.138	1.007	0.895	0.800	0.723

Fuente: Degremont (1979)

Esto ocasiona una penetración más fácil de las aguas al subsuelo, pudiendo arrastrar productos contaminantes

a los acuíferos someros.

Entre los detergentes aniónicos destaca el alquil-bencil-sulfonato conocido con las siglas ABS pero es uno de los más difíciles para desdoblar durante la purificación de aguas negras. Pasa por las plantas el 50 por ciento o más del que llega. Concentraciones tan pequeñas como 1 mg/l causan espuma en un río. La tendencia a formar espuma es mayor en aguas limpias y mientras más humedad ambiental exista<sup>(21)</sup> y es en la espuma en donde se concentra la mayor cantidad de detergente del agua<sup>(22)</sup>.

En los años de 1960 y durante esa década, se popularizaron en el mercado mexicano los detergentes biológicos, los que en realidad no son otra cosa que una mezcla de detergente común, perfumes, colorantes y un agente biológico. La parte biológica que se adiciona al detergente está constituida por una enzima proteolítica activa que al encontrarse en un medio favorable, bajo ciertas condiciones de humedad y temperatura, ocasiona la desintegración de la molécula de grasa, una parte de la cual digiere; además destruye también las proteínas. El lapso de vida de las enzimas en estado seco puede ser muy largo, pero al encontrarse en agua comienzan a actuar, siendo entonces su vida de uno o dos días, llegando en ocasiones a tres.

Algunos detergentes tienen una cadena recta del grupo alquil que son fácilmente oxidables bioquímicamente en poco tiempo como el denominado LAS por ser lineal-alquil-sulfonato; mientras que el ABS es degradado en las plantas de tratamiento en un 40 por ciento, el LAS lo es en un 93<sup>(23)</sup>.

#### Determinación

Para la determinación de los surfactantes aniónicos se emplea el método de extracción del azul de metileno; dicha anilina es soluble en agua pero insoluble en cloroformo y los surfactantes aniónicos sulfonados reaccionan con el azul de metileno para formar una sal insoluble

que sí lo es en cloroformo. La intensidad del color producido por el complejo soluble en cloroformo puede medirse fotométricamente y compararse con una curva de calibración producida por un surfactante aniónico técnico (producto puro) previamente analizado. En forma genérica este método se aplica a los productos denominados Sustancias activas al azul de metileno (SAAM) que incluyen a los detergentes.

#### 3.4.5. Acidez y Alcalinidad

La acidez y la alcalinidad es la medida de la capacidad del agua para reaccionar con los iones oxhidrilos y los iones hidrógeno respectivamente. Debido a la relación que tiene con el pH y que no es congruente con esta escala, algunos químicos prefieren hablar de concentraciones de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos en lugar de alcalinidad.

Valores comprendidos entre pH 3.5 a 9.0 se consideran resultado de la presencia de ácidos o bases débiles. Si la alcalinidad sobrepasa este límite o la acidez está abajo de él, se debe a la presencia de bases o ácidos fuerte respectivamente. En general el dato que se proporciona en los análisis es el de la alcalinidad exclusivamente. Se divide en alcalinidad a la fenolftaleína (F) y al anaranjado de metilo o total (AM o T); los resultados se dan en mg/l como  $\text{CaCO}_3$  puesto que son varios componentes los que la producen.

#### 3.4.6. Demanda Química de Oxígeno (DQO).

Es una prueba muy usada para detectar contaminación de origen industrial; valora todo lo que es oxidable y no solamente a la materia orgánica, de manera que siempre es mayor el valor de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) con respecto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), variando los resultados de acuerdo a la composición del

FAC. DE INGENIERIA  
DOCUMENTACION

agua, concentraciones del reactivo, temperatura, período de contacto y otros factores. Además, para ciertos desechos que contienen sustancias tóxicas esta prueba es el único método para determinar la carga orgánica; su mayor ventaja respecto a la prueba de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) es el corto tiempo que se requiere para su valoración siendo necesario tan solo 3 horas; sin embargo en ausencia de un catalizador, el método comunmente usado para DQO no llega a incluir algunos compuestos orgánicos como el ácido acético que biológicamente se encuentran disponibles para los organismos de las corrientes, mientras que se detectan algunos compuestos biológicos como la celulosa que no se mide en la DBO. Se ha estandarizado y adoptado extensamente para pruebas de desechos industriales.

### 3.5. Parámetros biológicos.

#### 3.5.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno.

La demanda bioquímica de oxígeno de una agua negra o contaminada, es la cantidad de oxígeno requerida por la materia orgánica disuelta para su descomposición biológica en condiciones aerobias en un tiempo y a una temperatura determinada. El agua muy contaminada no contiene el oxígeno suficiente en solución para mantener condiciones aeróbicas durante la descomposición y autopurificación.

Esta prueba está basada en determinaciones sucesivas de OD y es una de las más importantes, ya que es la que cuantifica mejor la contaminación. Como la prueba de la DBO se basa en la cantidad de OD consumida por la materia orgánica, es natural que conforme pasa el tiempo se vaya consumiendo más oxígeno y agotando el que tiene el agua. La cantidad consumida de OD conforme al tiempo, da como resultado una gráfica como la que muestra la Figura N° 11.

Se observa de las gráficas que la DBO varía tanto con el tiempo como con la temperatura a la que se somete

la prueba con la misma cantidad de materia orgánica; a mayor temperatura es más activa la descomposición y a menor temperatura la misma cantidad de materia orgánica se va descomponiendo más lentamente, consumiendo por tanto menor cantidad de oxígeno. Por eso es que se especifica para la prueba un tiempo y una temperatura fijos que son 5 días y 20° C respectivamente.



FIGURA Nº 10. Frasco para determinar OD.

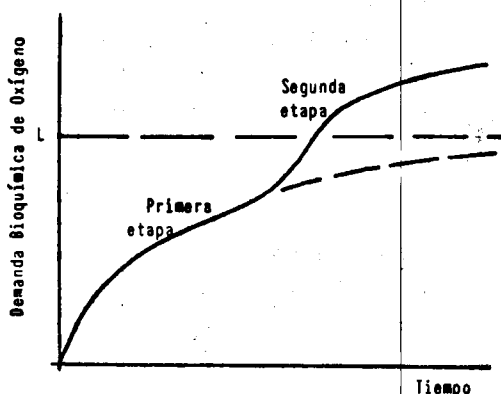


FIGURA Nº 11. Progreso de la DBO

En la curva típica se marcan dos etapas: la primera muestra cómo se satisface la DBO de la materia carbonácea; la segunda cómo tiene lugar la nitrificación. A 20° C la demanda de oxígeno de las bacterias nitrificantes comienza entre los 8 y 10 días, pasando el nitrógeno a la forma de amoníaco, ácido nitroso y ácido nítrico en cantidades que introducen serios errores en trabajos de DBO. Esta es una de las principales razones para la selección de un período de incubación a 5 días para la prueba regular.

La primera fase de la curva representa la descomposición de la materia orgánica carbonácea llamándose Primera Etapa o de Carbonatación; la siguiente, donde continúa descomponiéndose principalmente la materia nitrogenada, se llama Segunda Etapa o Nitrificación.



La primera fase o etapa de la DBO se apeg a una ley matemática exponencial en la que la velocidad de consumo de oxígeno en cualquier instante, es directamente proporcional a la cantidad de materia orgánica oxidable presente. En la segunda etapa, los organismos nitrificantes que se desarrollan son más difíciles de aislar y cultivar, de tal manera que la experiencia en laboratorio es escasa en relación a la de la primera etapa; la observación del consumo de oxígeno está sujeta a un mayor número de errores que la primera etapa.

Las características químicas del agua tal como los fosfatos y cloruros, tienen un efecto muy pronunciado en el avance del proceso correspondiente a la segunda etapa.

La demanda de oxígeno de las aguas contaminadas tiene su origen en tres factores:

- 1) Materiales orgánicos carbonosos que son usados como alimento por organismos aerobios.
- 2) Materiales nitrogenados oxidables derivados de compuestos de nitritos, amoníaco y nitrógeno orgánico y que son usados como alimento por determinadas clases de bacterias.
- 3) Compuestos químicos reductores como hierro ferroso, sulfitos y sulfuros que reaccionan con el oxígeno molecular disuelto.

Cuando se manejan aguas negras domésticas crudas o tratadas, la demanda de oxígeno se debe a la primera clase de organismos.

En cuanto a la primera etapa, si se considera que la cantidad de materia orgánica oxidable a cualquier tiempo y a temperatura constante es proporcional al consumo de oxígeno o lo que es lo mismo, a la cantidad de reacción de DBO, se puede expresar en forma diferencial de la siguiente manera:

$$- \frac{dc}{dt} = kc$$

donde  $c$  = concentración de materia orgánica oxidable al principio del intervalo  $t$ .

$k$  = constante de proporcionalidad de la reacción.

Esta es una reacción de primer orden en donde la rapidez de reacción depende exclusivamente de la concentración de materia orgánica. Se ha visto que es más sencillo determinar la cantidad de oxígeno que se está consumiendo en cierto momento, que conocer la cantidad de materia orgánica que se tiene (Véase Figura N° 12); por lo tanto, ya que se trata de un consumo (-) a partir del máximo ( $L$ ):

$$-\frac{dL}{dt} = kL$$

que representa la proporción a la que es destruida la materia orgánica contaminante.

$L$  = demanda máxima de oxígeno primera etapa, también denominada demanda última de oxígeno (DBOu).

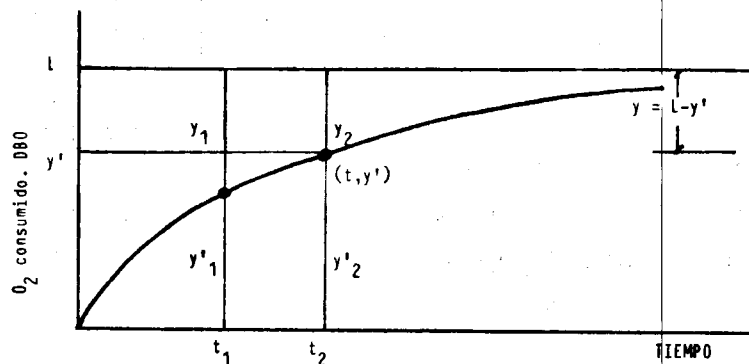


FIGURA N° 12. Demanda bioquímica de oxígeno.

Si  $y'$  es la cantidad de materia orgánica oxidada (representada en forma de DBO) en un tiempo  $t$ , integrando la ecuación entre los límites  $(L, y')$  y  $(0, t)$ , para conocer la cantidad de materia que existe, se tendrá:

$$\int_L^{y'} \frac{dL}{L} = -k \int_0^t dt$$

que integrada dá:

$$\ln L \left| \frac{y'}{L} = -kt \right|_0^t$$

$$\ln y' - \ln L = \ln \frac{y'}{L} = -kt$$

o sea:  $\frac{y'}{L} = e^{-kt}$

y finalmente  $y' = L e^{-kt}$  (1)

La cantidad de reacción que ha sido efectuada hasta el tiempo  $t$  será:

$$y = (L - y') \quad (2)$$

o cantidad que falta por oxidarse. Sustituyendo el valor de  $y'$  por  $Le^{-kt}$  obtenido en (1)

$$y = L - Le^{-kt}$$

por lo tanto:  $y = L (1 - e^{-kt})$  (3)

ecuación que indica la manera como es ejercida la DBO, y es la DBO a cualquier tiempo  $t$ ; también:

$$y = L (1 - 10^{-k't}) \quad (4)$$

donde  $k' = 0.4343 k$

Para la evaluación de la DBO total de la primera etapa o sea  $L$  a partir de valores calculados de la DBO de 5 días, es necesario conocer el valor de la constante de rapidez de reacción  $k$  o  $k'$ , ya que varía con la naturaleza de la materia orgánica, con la habilidad de los organismos presentes para utilizada y con la temperatura.

El valor de  $k$  así como el de  $L$  pueden ser evaluados por distintos métodos, partiendo de un conjunto de observaciones de la DBO a ciertos tiempos, que establecen la trayectoria de la reacción; entre éstos existen soluciones que van desde el empleo de nomogramas hasta soluciones teóricas exactas.

La velocidad de reacción aumenta con la temperatura; una regla aproximada para los fenómenos químicos es que se duplica por cada aumento de 10° C. Matemáticamente el cambio de la constante de velocidad con la temperatura se obtiene por la ecuación de Van't Hoff-Arrhenius<sup>(24)</sup>:

$$\frac{d(\ln k)}{dt} = \frac{E}{RT^2} \quad (5)$$

$k$  = constante de velocidad de reacción en día<sup>-1</sup>

$T$  = temperatura en °K (273.1 + °C)

$R$  = constante de los gases (1.99 cal/°C)

$E$  = energía de activación en cal/g

Para que se lleve a cabo una reacción se requiere cierta energía y esa energía se desprende y se vuelve calor o se disipa en cualquier otra forma. Dentro de las temperaturas de 15° a 30° C, la energía de activación  $E$  de la DBO es de 7,900 cal/g pudiéndose llegar a 20,000 cal/g a 0° C.

La integración de la ecuación (5) entre los límites  $T$  y  $T_0$  da como resultado:

$$\ln \frac{k}{k_0} = \frac{E}{RT_0} - \frac{E}{RT}$$

$$\ln \frac{k}{k_0} = \frac{E}{R} \left( \frac{T - T_0}{T T_0} \right)$$

o bien

$$\frac{k}{k_0} = e^{\left[ \frac{E}{R} \left( \frac{T - T_0}{T T_0} \right) \right]}$$

en donde el subíndice cero denota los valores de referencia.

Dentro de pequeñas variaciones de la temperatura, como ocurre en las aguas naturales, el valor de  $\frac{E}{R(TT_0)}$  puede considerarse constante; por tanto:

$$\frac{k}{k_0} = e^{C_k (T - T_0)}$$

a su vez  $e^{C_k}$  es otra constante  $\theta_k$ :

$$\frac{k}{k_0} = \theta_k (T - T_0) \quad (6)$$

$C_k$  = característica de la temperatura

$\theta_k$  = coeficiente de la temperatura

$T$  y  $T_0$  = temperatura en °C

Para temperaturas entre 15° y 30° C

$C_k = 0.046$  por °C

$\theta_k = 1.047$

Para otras temperaturas:

5° C:  $\theta_k = 1.050$ ;  $C_k = 0.049$

10° C:  $\theta_k = 1.049$ ;  $C_k = 0.048$

35° C:  $\theta_k = 1.045$ ;  $C_k = 0.044$

Igualmente se puede plantear en forma semejante a la ecuación (6):

$$\frac{L}{L_0} = e^{C_L (T - T_0)} \quad (7)$$

Multiplicando la (6) por la (7):

$$\frac{k L}{k_0 L_0} = e^{(C_k + C_L) (T - T_0)} \quad (8)$$

$k_0$  = constante de reacción bajo condiciones de referencia.

$L_0$  = DBO máxima de la primera etapa (DBO<sub>u</sub>) para condiciones de referencia.

$T$  = Temperatura a la que se busca el nuevo valor.

$C_k, C_L$  = características de temperatura.

La ecuación (8) relaciona los valores de  $k$  con los de  $L$

El desarrollo de la expresión  $e^{C(T-T_0)}$

da una serie que es:

$$\left[ 1 + C (T - T_0) + \frac{1}{2} C^2 (T - T_0)^2 + \frac{1}{6} C^3 (T - T_0)^3 + \dots \right]$$

En una forma aproximada y sin gran error, se pueden tomar solo los primeros términos:

$$1 + C (T - T_0)$$

Tomando en cuenta esta consideración en las ecuaciones (6) y (7):

$$\frac{k}{k_0} = 1 + C_k (T - T_0) \quad (9)$$

$$\frac{L}{L_0} = 1 + C_L (T - T_0) \quad (10)$$

Para  $C_L$  se toma un valor medio de 0.020 por  $^{\circ}\text{C}$

La DBO ( $y$ ) ejercida en un tiempo ( $t$ ) y a cierta temperatura ( $T$ ), en términos de los valores de referencia:  $k_0$ ,  $T_0$ ,  $y_0$  y  $t_0$  además de  $C_L$  y  $C_k$ ; es como se indica:

Sustituyendo (7) en (3)

$$y = L_0 e^{C_L(T - T_0)} (1 - e^{-kt})$$

Sustituyendo (6) en la ecuación anterior

$$y = L_0 e^{C_L(T - T_0)} \left[ 1 - e^{-k_0 t} e^{C_k(T - T_0)} \right] \quad (11)$$

También:

$$\frac{y_0}{L_0} = 1 - e^{-k_0 t_0}$$

o sea

$$L_0 = \frac{y_0}{1 - e^{-k_0 t_0}} \quad (12)$$

Sustituyendo  $L_0$  de la ecuación (12) en (11)

$$y = \frac{y_0}{1 - e^{-k_0 t_0}} e^{C_L(T - T_0)} \left[ 1 - e^{-k_0 t} e^{C_k(T - T_0)} \right]$$

Ordenando

$$y = y_0 e^{C_L(T - T_0)} \frac{1 - e^{-k_0 t} e^{C_k(T - T_0)}}{1 - e^{-k_0 t_0}} \quad (13)$$

Ecuación que da la DBO en determinado tiempo ( $t$ ) y a cualquier temperatura ( $T$ ).

De la ecuación (13) y tomando a  $y_0$  como la unidad, resulta la relación de  $y$  a las temperaturas indicadas y a los

días de incubación que se expresan en la Tabla N° 16, en la que además se marca el inicio de la segunda etapa o de nitrificación por las líneas de separación<sup>(32)</sup>. Para su elaboración se han tomado los valores típicos:

$$C_L = 0.20 \text{ por } ^\circ\text{C}$$

$$C_k = 0.046 \text{ por } ^\circ\text{C}$$

$$k_0 = 0.23 \text{ día}^{-1}$$

$$t_0 = 5 \text{ días}$$

$$T_0 = 20^\circ \text{ C}$$

TABLA N° 16  
PROPORCIÓN DE LA DBO RESPECTO A LA  
CONDICION BASICA

Tiempo (días)	Temperatura (°C)						
	5	10	15	20	25	30	35
1	0.11	0.16	0.22	0.30	0.41	0.54	0.70
2	0.21	0.30	0.40	0.54	0.71	0.91	1.14
3	0.31	0.41	0.56	0.73	0.93	1.17	1.42
4	0.38	0.52	0.68	0.88	1.11	1.35	1.60
5	0.45	0.60	0.79	1.00	1.23	1.47	1.71
6	0.51	0.68	0.88	1.10	1.31	1.56	1.78
7	0.57	0.75	0.95	1.17	1.40	1.62	1.82
8	0.62	0.80	1.01	1.23	1.45	1.66	1.85
9	0.66	0.85	1.06	1.28	1.49	1.69	1.87
10	0.70	0.90	1.10	1.32	1.52	1.71	1.88
12	0.77	0.97	1.17	1.37	1.56	1.73	1.89
14	0.82	1.02	1.21	1.40	1.58	1.74	1.90
16	0.85	1.06	1.24	1.43	1.59	1.75	---
18	0.90	1.08	1.27	1.44	1.60	1.76	---
20	0.92	1.10	1.28	1.45	1.61	---	---
25	0.97	1.14	1.30	1.46	---	---	---
primera etapa	1.02	1.17	1.32	1.46	1.61	1.76	1.90

Fuente: Unda Opazo (1969)

En una forma similar a como se obtuvo la ecuación (13) se puede desarrollar el valor último de la primera etapa.

De (3):  $y_0 = L_0(1 - e^{-k_0 t_0})$

Se obtiene  $L_0 = \frac{y_0}{1 - e^{-k_0 t_0}}$

La Ecuación (7) es  $L = L_0 e^{C_L(T - T_0)}$

Sustituyendo  $L_0$  de la ecuación anterior en la (7)

$$L = \frac{y_0 e^{C_L(T - T_0)}}{1 - e^{-k_0 t_0}} \quad (14)$$

Si se desea conocer la relación del consumo de OD a cualquier tiempo con respecto a la DBOu se partirá de la ecuación (3)

$$y = L (1 - e^{-kt})$$

$$y = L - L e^{-kt}$$

que representa la relación de la parte ejercida de la DBO en un tiempo dado respecto al total. Si se considera a  $L$  como el 100 por ciento, entonces  $y$  estará dando el porcentaje de la demanda que se lleva hasta ese momento

$$y(\%) = 100 - 100 e^{-kt} \quad (15)$$

si se generaliza la ecuación para cualquier tiempo y temperatura, quedaría

$$y(\%) = 100 - 100 e^{-k_0 t} e^{C_k(T - T_0)} \quad (16)$$

que resulta de haber sustituido en (15) el valor de  $k$  dado por

$$k = k_0 e^{C_k(T - T_0)}$$

En la ecuación (16) el término

$$100 e^{-k_0 t} e^{C_k(T - T_0)}$$

es la cantidad por oxidar.

Para determinar el porcentaje de reacción que esté ocurriendo en relación del total de la demanda de la primera etapa por unidad de tiempo (se considera a  $L$  como 100 %):

$$L_t = 100 e^{-k_0 t} e^{C_k(T - T_0)} \quad (17)$$



que es general, ya que representa el porcentaje de la demanda a cualquier temperatura y tiempo dados. De esta manera resulta la Tabla N° 17<sup>(19)</sup> considerando:

$$T = 20^{\circ} \text{C}; k = 0.23 \text{ día}^{-1}; C_k = 0.046/^{\circ}\text{C}$$

TABLA N° 17  
PORCENTAJE DE LA DEMANDA RESPECTO AL TIEMPO

Tiempo (días)	Cantidad por oxidar	Consumo en el día	Cosumo acumulado
0	100.00		0
1	79.4	20.6	20.6
2	63.0	16.4	37.0
3	50.0	13.0	50.0
4	39.8	10.2	60.2
5	31.6	8.2	68.4
6	25.0	6.6	75.0
7	20.0	5.0	80.0
8	15.8	4.2	84.2
9	12.5	3.3	87.5
10	10.0	2.5	90.5
11	7.9	2.1	92.6
12	6.3	1.6	94.2
13	5.0	1.3	95.5
14	4.0	1.0	96.5
15	3.2	0.8	97.3
16	2.5	0.7	98.0
17	2.0	0.5	98.5
18	1.6	0.4	98.9
19	1.3	0.3	99.2
20	1.0	0.3	99.5

Fuente: Velz (1970)

**Determinación**

Si los desechos consistieran exclusivamente de aguas negras de tipo doméstico, la medición de la demanda de oxígeno se podría realizar por medio del Método Directo pero como los desechos son generalmente de naturaleza compleja, es necesario usar el Método de Dilución.

**a) Método Directo**

El procedimiento consiste en tener la muestra a 20° C y aerada cerca de la saturación. A dos frascos se les determina de inmediato su oxígeno disuelto (DBO<sub>0</sub>) y otros dos se pasan a incubación durante 5 días a 20° C. Después de 5 días se les determina la cantidad de OD (DBO<sub>5</sub>); la DBO es calculada por la diferencia de los dos valores así conocidos. Se usan dos frascos para sacar promedio y a veces 3, en caso de que los valores de las determinaciones sean muy distintos.

**b) Método de Dilución**

Se agregan elementos nutrientes al agua de dilución en cantidades conocidas para que los organismos que van a descomponer la materia orgánica no mueran. Dependiendo del agua por analizar se usa un inóculo satisfactorio: para desechos industriales alimenticios, se usa el líquido sobrenadante de aguas negras domésticas que se han mantenido por 24 a 36 horas a 20° C; para desechos industriales que contengan materia orgánica, se emplean inóculos cultivados en laboratorio o el agua de la misma corriente receptora tomada a unos 3 a 8 km aguas abajo del punto de descarga del desecho. Es suficiente con verter 2 ml de desechos por litro de agua de dilución; ésta puede tener una gama de pH de 6.5 a 8.5 y debe conservarse tan cerca de 20° C como sea posible.

Para el control del agua de dilución se llenan 2 frascos para DBO con esta agua; uno de ellos se tapa y se incuba; al otro se le determina de inmediato el OD. Se usan soluciones testigo que sirven como referencia para todos los cálculos de la DBO.

### 3.5.2. Bacteriología.

Las aguas contaminadas principalmente con aguas negras, contienen incontables organismos, la mayoría de los cuales son demasiado pequeños para ser visibles a simple vista. Son la parte viva natural cuya determinación es de suma importancia por conocerse con ella, prácticamente la historia de la contaminación del agua.

Los microorganismos que interesan son: algas, hongos, bacterias, protozoos y algunas de las formas superiores como huevesillos y larvas. El conocerlos es de gran auxilio para el analista porque con ellos se puede clasificar mejor el tipo de agua que se está estudiando; además de indicar el grado de contaminación con aguas residuales que pudiera tener el agua al momento de tomar la muestra.

Las bacterias constituyen la clase Schizomycetes, consideradas como las más primitivas de los vegetales; son típicamente unicelulares y llegan a medir entre una y ocho micras.

La forma de las bacterias puede ser la esférica o la alargada; las de forma esférica reciben el nombre de coccus, las alargadas en forma de barra recta bacillus, y la alargada en forma de barra curva spirillum.

Las células están formadas de protoplasma y observadas al microscopio electrónico acusan la presencia de un núcleo. Casi siempre las bacterias presentan pigmentación, pero no tienen el color verdoso de la materia clorofílica por no existir en éstas. Algunas tienen movimiento propio como los flagelados.

Es frecuente en algunas bacterias la formación de esporas; éstas son generalmente muy resistentes a las condiciones desfavorables tanto de humedad como de temperatura. La esterilización se funda en la eliminación total de esta forma.

En algunas ocasiones se puede identificar a las bacterias por los métodos de reproducción. Tienen la particula-

ridad de reproducirse muy rápidamente; algunas formas pueden crecer y subdividirse en sólo 15 minutos. El aumento en número se presenta bajo determinada ley de crecimiento en la cual se observan distintas fases de acuerdo con el medio en que se reproducen.

De acuerdo al medio de desarrollo, las bacterias se dividen en:

- a) Naturales del agua
- b) Provenientes del suelo
- c) De origen intestinal o de aguas negras

Las naturales del agua en general no son patógenas; son típicas las *Pseudomonas*, la *Serratia flavobacterium* y *chromobacterium*.

Las provenientes del suelo tampoco son patógenas; se hallan frecuentemente *bacillus* y *aerobacillus*.

Las bacterias de origen intestinal o de aguas negras que por supuesto provienen del agua o del suelo, pueden ser o no patógenas; entre las no patógenas se encuentra la *Escherichia coli* típica del hombre, *aerobacter* y *proteus*. Entre las patógenas las salmonellas (*S. typhimurium*, *S. typhi*, *S. enteritidis*) las shigellas (*S. sonnei*, *S. flexneri*, *S. dysenteriae*) y serogrupos de *E. coli*.

En general este tipo de bacterias vive poco tiempo en el agua al no encontrarse en un ambiente propicio; interfieren la temperatura, luz, presión, acidez, etc. su presencia indica contaminación con aguas negras. La turbiedad provocada por los sólidos al ser arrastrados por los escurrimientos del agua, ayudan a la eliminación de bacterias, pegándose éstas a los sólidos y trasladadas rápidamente al fondo. Función parecida hace el plancton y finalmente los peces y especies superiores que indirectamente consumen grandes cantidades.

De acuerdo a las temperaturas óptimas para el desarrollo de las bacterias, éstas se dividen en psicrófilas cuando viven entre los 15° y 20° C; a este grupo pertenecen las acuáticas<sup>(40)</sup>. Mesófilas cuando prefieren entre 25° y 45° C, a este grupo pertenecen la mayoría de las patógenas. Termófilas entre 45° y 55 ° C. Todas ellas pueden vivir

dentro de una variación de temperatura mínima a máxima, pero bajan su actividad en todos sentidos cuando se hallan fuera de las acostumbradas. Algunas bacterias resisten temperaturas tan bajas como las del aire líquido (-250°C) y otras resisten temperaturas tan altas como 70° C.

Con el examen bacteriológico de aguas para provecho directo humano, se obtiene una determinación aproximada del número total de bacterias pudiéndose así comprobar la presencia o ausencia de bacterias intestinales sobre todo de tipo patógeno o procedentes de aguas negras.

Lo que se investiga en realidad es la presencia de ciertos microorganismos característicos en los excrementos de animales de sangre caliente, incluso el hombre y que por consiguiente sirven de indicadores de la contaminación con aguas negras. Entre los organismos seleccionados para este objeto, está el grupo de bacterias coliformes que tienen su desarrollo natural en el conducto intestinal de los humanos; también el *Streptococcus faecalis* es indicador de la contaminación fecal del agua y de la posible presencia de los parásitos intestinales y por consiguiente de bacterias patógenas.

El grupo coliforme cuyo nombre viene de colon (intestino grueso) y al que sirve de tipo la *Escherichia coli*, incluye a todas las bacterias no formadoras de esporas y Gram negativas, en forma de bastón, que fermentan a la lactosa con producción de gas a 35° C en 48 horas<sup>(31)</sup>. La adición de parte de una muestra de agua a caldo nutritivo que contenga lactosa, incubándola y observando el desprendimiento de gas, proporciona una evidencia de que se encuentran presentes los coliformes. Debido a que existen otras bacterias que pueden fermentar a la lactosa, la presencia del grupo coliforme se debe confirmar mediante reacciones verificativas.

### 3.5.3 Número más probable (NMP)

La estimación del conjunto de bacterias del grupo

coliforme presentes en un determinado volumen de agua, será un índice de la intensidad de contaminación.

Cualquier prueba de fermentación positiva en caldo lactosado, es decir, que muestre formación de gas después de 24 o 48 horas, indica la presencia de bacterias coliformes en una cantidad proporcional al volumen de muestra que se haya examinado. Usando diferentes volúmenes de muestra, es posible hacer una estimación cuantitativa del número de bacterias coliformes presentes. Si se conoce el número de tubos positivos y negativos correspondientes a cada dilución, se puede calcular el número probable de organismos el cual usualmente se expresa como número más probable (NMP) de bacterias del grupo observado.

El humano tiene permanentemente coli en gran número y aunque no es patógeno, se ha considerado como base para interpretar la contaminación bacteriana. Cabe hacer la aclaración que varios serotipos de *E. coli* son los responsables de gastroenteritis y diarreas sobre todo en recién nacidos y niños menores de 5 años<sup>(30)</sup>.

Es muy sencillo detectar el grupo coli dado el número como se desaloja, la facilidad con que se les encuentra y las técnicas de determinación en laboratorio.

Si la *E. coli* está presente en una agua, es indicio de que se ha contaminado con materia fecal humana, puesto que es típica del hombre y se excreta precisamente a través de la materia fecal. Dada la facilidad de detección y al número tan grande que se desaloja, se puede relacionar con la presencia de otras bacterias difíciles de determinar en laboratorio: Haciendo una relación entre bacterias coliforme y las demás, se ha encontrado por ejemplo que por un millón de *E. coli* hay de 3 a 30 *Salmonella typhosa*; y la posibilidad de enfermar de diarrea entérica está en proporción de 1 por 50 coli<sup>(25)</sup>.

Existen pruebas bacteriológicas de tipo presuntivo y confirmativo. La presuntiva es aquella en que se han hecho las pruebas correspondientes para encontrar *E. coli*, pero cuya reacción puede no deberse exclusivamente a éste

72 Evaluación, efectos y solución de la contaminación de aguas  
sino a otras bacterias tipo *Aerobacter*, que producen gas  
y pueden confundirse con la *Escherichia coli*. La prueba pre-  
suntiva estima que hay colibacilos; la confirmativa dirá  
el número o cantidad definitiva de ellos.

El NMP confirmado es un dato más riguroso y obviamente  
menor que el presuntivo, siendo los dos de tipo cuantita-  
tivo. Es presuntivo en cuanto que se ha encontrado que  
existe un determinado número del grupo coliforme en un  
volumen de muestra; es confirmativo cuando se asegura  
que existe sólo éste. Realizar una prueba confirmativa,  
implica más tiempo, costo y delicadeza, razón por la cual  
muchas veces no se llega hasta esta prueba a menos de  
que lo amerite el estudio.

Se recomienda que el lapso entre la recolección y  
el análisis para una muestra no refrigerada no pase de  
8 h ( 6 h para el transporte y 2 h para su proceso). En  
caso de no poderse hacer dentro de este límite se deberá  
mantener desde un principio en refrigeración a unos 10°C  
o menos y hacer su análisis antes de 30 h.

#### Determinación.

a) Técnica de filtros de membrana.

Este método es muy usado ya que permite obtener:

1. Mayor grado de precisión
2. Examen de mayores volúmenes de muestras
3. Filtración de las muestras en el campo
4. Embarque de los filtros al laboratorio en su propio medio.
5. Resultados en menor tiempo que el requerido por otros métodos.

El método consiste en la filtración de la muestra  
a través de una membrana que retiene a las bacterias;  
se coloca en un receptáculo provisto de un embudo fijado  
a un matraz de filtración al vacío. Después de filtrada  
la muestra se retira la membrana y se mantiene en incuba-  
ción en un medio de cultivo durante  $20 \pm 2$  h y a  $35 \pm 0.5^\circ\text{C}$

Para el conteo de las colonias se usa un microscopio binocular de disección de campo amplio con aumento de 10 a 15 diámetros.

b) Bacteriología en medio sólido.

Se puede hacer el cultivo de bacterias en un medio líquido o sólido de tipo gelatinoso. Se ponen los alimentos necesarios para que se reproduzcan y ciertas sustancias que inhiben la vida de otros microorganismos. El medio sólido se coloca en una caja de Petri, donde se incuban; se inocula con una asa estéril que toma una pequeña cantidad de agua contaminada que se pasa por la superficie. Las bacterias comienzan a reproducirse para formar colonias. Se supone que cada colonia está originada por una bacteria. Algún tipo de bacterias cuando se incuban en gelatina, la licúan sirviendo como indicio para su clasificación.

c) Bacteriología en medio líquido.

El NMP se basa en leyes de probabilidad empleando los resultados positivos y negativos de los tubos incubados y de acuerdo a la porción de la muestra. Con cinco porciones de muestra de cada uno de los volúmenes de 10 ml, 1 ml y 0.1 ml respectivamente, pueden obtenerse resultados cuantitativos que varían de 2-2400 bacterias coliformes por ml. Se usan tubos que contienen un líquido nutritivo a base de caldo lactosado; se introduce un tubo más pequeño en forma invertida que se llena y permanece en el fondo. Se esteriliza el conjunto para evitar la procreación de bacterias en el medio. Con una asa se reparte una pequeña cantidad de la muestra en el medio líquido o bien se vierte una cantidad mayor de agua de la cual se va a obtener su NMP. Las bacterias se empiezan a reproducir en todo el medio y lo hacen con suma rapidez. Cada bacteria produce un poco de gas, pero en conjunto y por ser tantas las bacterias, el gas que se desprende es mucho, parte del cual queda atrapado en el tubo inver-



74 Evaluación, efectos y solución de la contaminación de aguas  
tido. Cuando esto sucede se dice que la prueba es posi-  
va. Véase Figura N° 13.

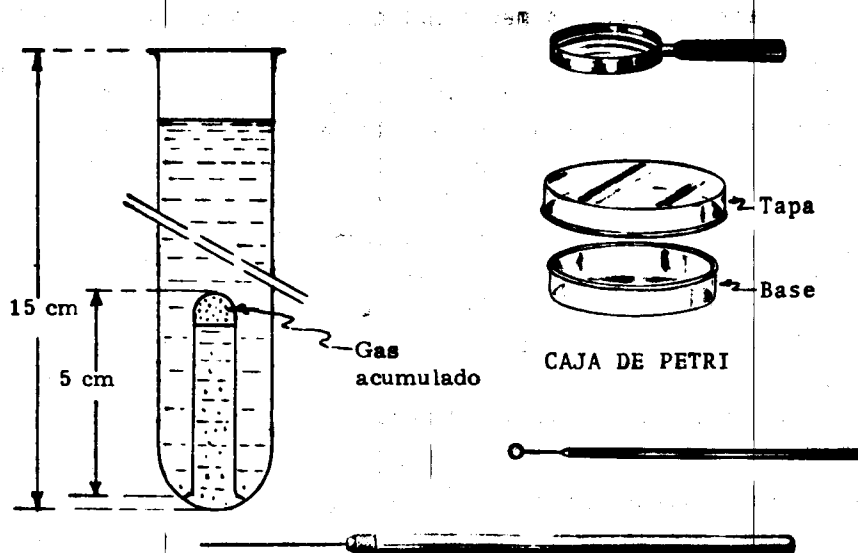


FIGURA N° 13. Materiales para determinar el NMP colibacilos

d) Microscopía.

El análisis bacteriológico se complementa con la observación microscópica. De cualquier medio que ha desarrollado el grupo coli, se toma una muestra que se coloca en un cristal portaobjetos, la cual se procesa generalmente con la coloración Gram.

La coloración Gram divide a las bacterias en dos grupos como resultado de sus reacciones colorimétricas; las que retienen el color rojo del yoduro Iugol que interviene en su composición y las que se tiñen de azul a causa de la solución de cristales de violeta que forma parte del compuesto. Las que se tiñen de rojo se denominan Gram

negativas; a este grupo pertenece la *E. coli* que como bacilo, toma ese color. Las que se tiñen de azul reciben el nombre de Gram positivas como la mayoría de las bacterias esféricas.

La coloración Gram no es una prueba absoluta y deberá usarse con criterio. Los cultivos de más de 24 h empiezan a perder sus cualidades positivas de Gram; además, se ha notado que algunas bacterias de un mismo cultivo son de Gram variable, es decir, que unas podrán tomar el color rojo mientras otras el azul sin ser distintas.

#### 3.5.4. Algas.

El olor del agua en ríos y principalmente en lagos, así como el sabor cuando en forma natural se pueda ingerir, pueden deberse a muchas causas, siendo una de las más importantes la proliferación de vegetales acuáticos unicelulares (algas) que flotan o nadan en forma libre y que generalmente sólo pueden ser vistos al microscopio. Los almacenamientos de aguas descubiertos son los lugares más expuestos a la proliferación de algas, ya que éstas contienen clorofila y necesitan de la luz solar para su metabolismo; Las algas secretan aceites que son descargados durante sus procesos vitales y que son liberados después de la muerte y desintegración de las células, produciendo los olores y sabores característicos en las aguas.

Las algas constituyen el alimento principal de los animales acuáticos; son productoras de oxígeno en el agua y facilitan la reoxigenación de la misma cuando se tiene bastante materia orgánica en vías de descomposición. Por su acción fotosintética juegan un papel muy importante en los procesos de purificación de aguas contaminadas.

Las algas son un grupo heterogéneo de las plantas criptógamas y más precisamente de las tallophytas, que comprenden 40 grandes clases y multitud de pequeños grupos todavía no estudiados por completo<sup>(41)</sup>, estimándose que existen entre 20,000 a 25,000 especies<sup>(42)</sup>. Tienen una larga

historia fósil, presumiéndose que algunas de ellas, tal y como viven actualmente, posiblemente se remonten a la época del origen de las plantas unicelulares fotosintéticas.

Pueden ser unicelulares o formando colonias. Las celulares se dividen en inmóviles (protococoidales), amibeáceas (rizopocoidales) y móviles (flagelados). La forma colonial puede estar constituida por la división celular aglutinada en una masa mucilaginosa (tetrásporal), por yuxtaposición de células subsecuentes a su división (coenobiales) o por un conjunto de células móviles (coenobiales flagelados).

Se reconocen en las células de la inmensa mayoría de las algas, bien sean unicelulares o multicelulares, los elementos fundamentales: la membrana, el citoplasma y el núcleo. Sin embargo, el grupo de las Cyanophytas presenta una estructura celular con características singulares que las hacen muy distintas de las otras, pues se dice de ellas que son los primeros seres vivos que aparecieron en la tierra.

Entre los diversos constituyentes de la célula y más precisamente sobre los que hacen que se integre la materia viva, figuran ciertos elementos portadores de pigmentos que reciben el nombre de cromatóforos y que son de dimensiones y forma muy variable. Gracias a estos pigmentos asimiladores fotosintéticos, las algas son autótrofas.

De una manera general, todas las algas pueden clasificarse de vegetales verdes porque sus cromatóforos contienen siempre clorofila de color verde; en otras va acompañada de carotenoides dando colores que van del amarillo al rojo carmín.

Las algas de importancia sanitaria son las siguientes<sup>(43)</sup>:

- a) Chlorophyta (algas verdes)
- b) Cyanophyta (algas azul-verde)
- c) Chrysophyta (Algas amarillas o amarillas café)
- d) Euglenophyta (euglenoides)
- e) Cryptophyta (cryptomonales)
- f) Pyrrophyta (dinoflagelados)
- g) Rhodophyta (algas rojas)
- h) Chloromonadophyta (chloromonales)
- i) Phaeophytas (algas cafés)

a) Chlorophyta.

Son plantas unicelulares, coloniales o filamentosas; se hallan flotando, nadando o fijas. Las células contienen plastidios (cloroplastos) en los que predomina la clorofila y además cuerpos brillantes almacenadores de almidón: los pirenoides. Los pigmentos que contienen son: dos tipos de clorofila; dos carotenos; tres o cuatro xantofilas; y algunas veces hematocroma. Su núcleo está bien definido; su pared celular que raramente falta, está compuesta de celulosa y pectosa. Las células libres o el elemento reproductor móvil, están dotados generalmente de dos pero a veces de cuatro y hasta de ocho flagelos de igual longitud, colocados en el extremo anterior. Su reproducción es sexual por iso, aniso o heterogametos. Véase Figura N° 14.

b) Cyanophyta.

Son plantas unicelulares o coloniales con filamentos simples o ramificados, aunque algunas veces falsamente ramificados. Sus cloroplastos son débiles; los pigmentos en solución que colorean por completo al protoplasma son frecuentemente más densos en la periferia de la célula. Sus pigmentos son: clorofila a, carotenos, dos xantofilas, ficoeritrina y ficocianina. La cubierta de la célula es tan delgada que en ocasiones es solamente una envoltura gelatinosa externa. A veces se observan pseudovacúplas

en las que se refracta la luz y el color obscuro de la célula y puede aparecer como verde, azul-verde, verde pardo, violeta, canela, café o púrpura. Su núcleo es defectuoso y se presenta como un grupo de gránulos de la región central del cuerpo de la célula. Son escasas las células móviles. La reproducción generalmente es asexual por fisión o por esporas. Es dudoso su contenido de alimentos almacenados, presumiéndose que se trata de almidón en flor.

c) Chrysophyta.

Pueden presentarse en forma aislada o colonial; raramente filamentosas. Los pigmentos contenidos en los cromatóforos que le dan color amarillo o café son: clorofila, un caroteno, fucoxantina y luteína. Almacenan alimento en forma de aceite o leucocina; en este último caso, la célula adquiere un brillo metálico. La pared celular es relativamente delgada de pectina e impregnada a menudo con silicón (especialmente en las diatomeas) algunas veces está formada de dos secciones con traslape en la región central. Las células móviles y los elementos reproductores nadantes, están ataviados con dos flagelos de desigual longitud y a veces de uno solo.

d) Euglenophyta.

Células solitarias que nadan con uno o dos y raramente tres flagelos. Una especie de boca o cavidad se encuentra en su extremo anterior, así como un ojo elemental que aparece como un punto de color rojo. Los cloroplastos varían de forma y contienen dos clorofilas, un caroteno y posiblemente dos xantofilos. Los pirenoides usualmente presentes en algunos géneros se hallan, bien en los cloroplastos o libres en la célula. El alimento lo almacenan como almidón insoluble. Su núcleo es grande y localizado en la parte central. La membrana celular en forma de una pellicula, es rígida o plástica, frecuentemente estriada. La reproducción sexual es rara; más bien lo hacen por

división celular y por enquistamiento, seguido por la multiplicación de la célula.

e) Chrytophyta.

Células solitarias, raramente en colonias; nadadoras; muy parecidas a los protozoarios con dos flagelos incertados en la parte lateral o subapical y de distinto tamaño. Sus cromatóforos son pocos pero muy anchos y de color café, azul o rojo, con pirenoides comunmente presentes. Los pigmentos son clorofila, xantofila y probablemente algún otro. Almacena sus alimentos como almidón sólido o sustancias muy parecidas a éste. La membrana celular es un periplasto rígido. Contiene en su extremo anterior una especie de boca o garganta. Su reproducción es por división longitudinal de la célula; no se conoce ningún caso de reproducción sexuada.

f) Pyrrophyta.

Células solitarias, raramente filamentosas en el género marino. Nadan mediante dos flagelos de aproximadamente igual longitud, uno incertado en una fisura transversal a la célula y otro en el punto inicial de otra longitudinal. En su mayor parte las células son ceñidas dorsiventralmente; la fisura longitudinal se extiende a lo largo de la superficie ventral. La pared celular es dura y simple o formada de placas poligonales en arreglo regular, dando la impresión de una estructura blindada. Contiene como pigmento a dos tipos de clorofila, un caroteno, cuatro xantofilos y ficopirrina; los peridinius rojos algunas veces predominan, dando al conjunto de organismos en masa el color caracterfstico de la marea roja. Almacenan almidón como alimento o sustancias parecidas y aceites. A veces se halla presente un pigmento luminoso que puede ser probablemente un ojo rudimentario. La reproducción se lleva a cabo por división longitudinal de la célula; en algunos géneros se hace mediante zoosporas asexuales; la forma sexuada no se les conoce.

g) Rhodophyta.

Plantas simples o ramificadas, y en un género dudoso, unicelulares. Los pigmentos contenidos en los cromatóforos incluyen dos clorofilas, dos carotenos, luteína, xantofila, ficoeritrina en forma abundante y ficocianina; en los géneros de agua dulce la ficoeritrina es escasa y las plantas son generalmente verde-pardo, verde-violeta o rojo acanelado. La reserva de alimentos es a base de almidón en flor. La pared celular es relativamente delgada, algunas veces con poros de comunicación intercelular y altamente musilaginosa. La reproducción sexual es a base de heterogametos; la reproducción asexual es por monoesporas y por tetraesporas. La movilidad es nula tanto en las células vegetativas como en las reproductoras. Los tallos son a veces de dimensiones macroscópicas.

h) Chloromonadophytas.

Es un grupo dudoso y escasamente conocido compuesto de pocos géneros y especies. Son células solitarias que nadan con uno o dos flagelos colocados en su parte apical. Cuando tienen cromatóforos, la xantofila predomina sobre la clorofila. La reserva alimenticia la constituye aceites y grasas. Poseen vacuolas y un reservorio en la parte extrema anterior de la célula. Tienen en arreglo radial tricosistis que están muy cerca de la membrana celular. La reproducción sexual se desconoce, lo hacen por división celular.

i) Phaeophyta.

Son típicas de aguas marinas, esencialmente filamentosas y casi siempre de gran tamaño aunque existen algunas microscópicas; sus pigmentos son dos xantofilas que incluye fucoxantina. Almacena alimentos como carbohidratos solubles incluyendo alcohol (manitol). Algunas veces se presentan pirinoides. La reproducción asexual es por zoosporas reniformes con dos flagelos laterales y la sexual por iso, aniso o heterogametos.

FIGURA Nº 14. Algunas especies de algas.



CLOROFITA

*Selenastrum gracile*



*Spirulina laxissima*

*S. princeps*

*Spirulina subsalsa*

CIANOFITA



CRISOFITA

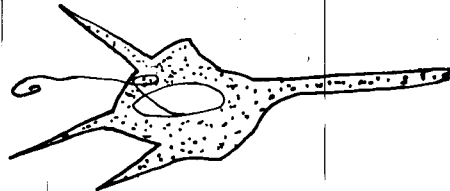
*Synura uvella*



*Phacus curvicauda*  
EUGLENOFITA

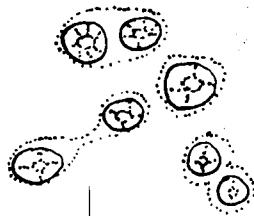


*Chromona Nordstedtii*  
CRIFTOFITA

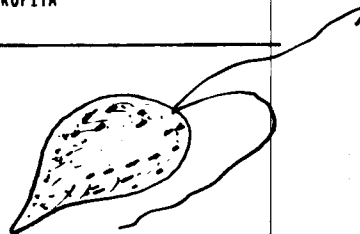


PIRROFITA

*Ceratium hirundinella*



*Porphyridium cruentum*  
RODOFITA



*Gonyostomum semen*  
CLOROMONODOFITA



Determinación.

Si el agua contiene pocos microorganismos, se concentra la muestra mediante centrifugación o usando el embudo de Sedgwick Rafter. Se toma un mililitro de la muestra concentrada y se coloca en la celda de enumeración; posteriormente se usa el microscopio para realizar el conteo de organismos, auxiliándose del micrómetro de Whipple (véase Figura N° 15). El micrómetro de Whipple es un disco de cristal que lleva grabada una retícula de líneas equidistantes trazadas en ángulo recto y subdividida una parte en franjas menores, cuyo fin es medir los objetos microscópicos y delimitar con exactitud los campos observados. Este aditamento se coloca en el plano focal del lente ocular.

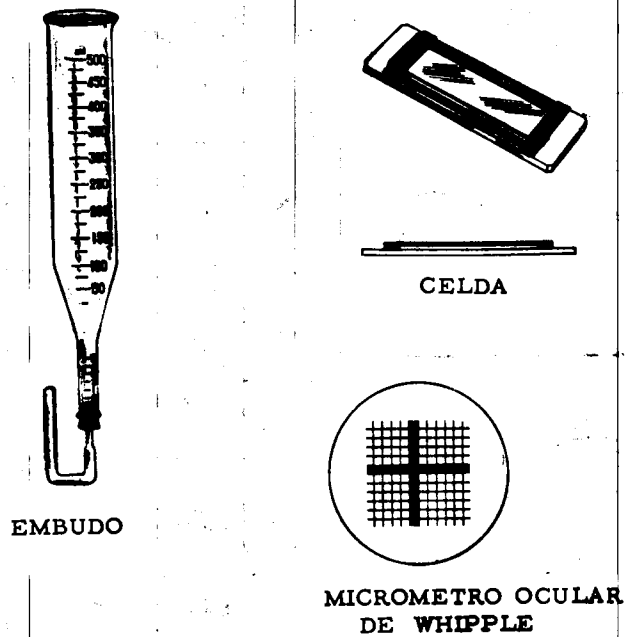


FIGURA N° 15. Equipo de Sedgwick Rafter.

Para el conteo se eligen normalmente diez sitios al azar dentro de la celda. Se cuentan los organismos que caen dentro del campo del micrómetro y aquéllos que lo están en más de la mitad de su cuerpo. En caso de microrganismos en movimiento, debe hacerse la observación lo más rápido posible y contar los que estén bajo la condición anterior, no descontando o añadiendo aquéllos que ya han quedado atrás del área de conteo.

Los diez campos observados representan una pequeña parte del área que tiene la celda; sin embargo, se supone que es el promedio para extrapolarlos a la totalidad. Finalmente debe tomarse en consideración la concentración que se hizo de la muestra para dar los resultados en número de organismos por mililitro. Cabe hacer la aclaración de que existen otros métodos y otras unidades para conocer el contenido de microorganismos en la muestra, pero el que se ha descrito es uno de los más empleados por su sencillez y fácil interpretación en trabajos de ingeniería.

### 3.6. Ejemplos de análisis

Para tener idea de los contenidos y medida de los parámetros descritos en las aguas contaminadas, se muestran algunos resultados de análisis. La Tabla N°18 contiene los datos promedio de un año de observación en los ríos San Javier, Tlalnepantla, Los Remedios y Mixcoac<sup>(44)</sup>. Todos ellos reciben aguas de desecho industrial, sobre todo los tres primeros.

La Tabla N° 19 contiene los datos obtenidos como promedio anual en la Estación San Lázaro<sup>(44)</sup>, con aportación de aguas mezcladas con baja influencia de desechos industriales; allí mismo se incluyen los datos para la Prolongación Sur del Gran Canal correspondientes a un muestreo horario de un día completo en el año de 1954<sup>(45)</sup>.

La Tabla N° 20 contiene los datos de análisis realizados en los desagües de la Ciudad de León, Gto.<sup>(46)</sup> en dos sitios.

TABLA N° 18  
DATOS PROMEDIO ANUALES

Parámetro	Unidad	RIOS			
		San Javier	Tlalnepantla	Los Remedios	Mixcoac
pH	-	6.87	6.90	7.00	7.23
C.E.	µmohs/cm	3057.67	2535.67	1163.00	659.00
ST	mg/l	2315.67	1803.33	937.00	641.33
SST	mg/l	418.33	247.00	255.33	218.33
SDT	mg/l	1907.33	1555.67	702.67	420.67
STV	mg/l	766.33	836.67	391.00	325.00
SS	ml/l	9.70	1.77	2.37	2.39
DBO	mg/l	570.67	486.67	228.67	181.00
DQO	mg/l	1316.67	1150.67	604.00	367.33
N-NH <sub>3</sub>	mg/l	17.47	11.07	14.17	12.67
N-ORG	mg/l	10.60	7.90	6.17	5.17
N-TOT	mg/l	28.30	25.00	20.33	17.83
P-TOT	mg/l	11.40	9.13	8.33	8.02
G y A	mg/l	144.30	98.53	79.37	115.50
SAAM	mg/l	6.90	10.83	9.13	11.00
BORO	mg/l	3.35	1.90	1.38	0.55
SULFATOS	mg/l	366.33	196.67	101.37	89.07
CLORUROS	mg/l	398.33	188.53	114.60	54.47
CIANURO	mg/l	.03	.16	.04	.01
FENOL	mg/l	.56	.53	.51	.69
CADMIO	mg/l	.01	.01	.06	.01
PLOMO	mg/l	.35	.31	.19	.13

Fuente: D.D.F.

TABLA N° 19  
DATOS PROMEDIO

Parámetro	Unidad	San Lázaro	Prolongación	Sur	Gran Canal
pH	-	7.23		7.14	
C.E.	µmohs/cm	1119.33		-	
ST	mg/l	786.67		986.00	
SST	mg/l	94.67		210.00	
SDT	mg/l	689.67		776.00	
STV	mg/l	350.33		378.00	
SS	mg/l	1.34		4.30	
DBO	mg/l	191.67		129.70	
DQO	mg/l	397.67		-	
N-NH <sub>3</sub>	mg/l	16.33		14.46	
N-ORG	mg/l	7.53		2.37	
N-TOT	mg/l	23.83		16.84	
P-TOT	mg/l	7.77		-	
G y A	mg/l	86.80		28.2	
SAAM	mg/l	9.30		-	
BORO	mg/l	.87		-	
SULFATOS	mg/l	77.80		-	
CLORUROS	mg/l	107.23		145.00	
PLOMO	mg/l	.23		-	










Fuente: D.D.F.

TABLA N° 20  
ANÁLISIS EN LEÓN, GTO.

Parámetro	Unidad	A. Serdán y Capulín	Salida Canal
pH	-	10.55	9.9
T	°C	23.5	26.3
Color	U.C.	2250	250
SS	ml/l	70	40
Mat. Flot.	ml/l	0	.75
ST	mg/l	11465	6373
STV	mg/l	2585	977
SST	mg/l	2960	1650
SSV	mg/l	1240	630
G y A	mg/l	157.4	79
DBO	mg/l	4127	1238
DQO	mg/l	4743.7	1695.5
Alc	mg/l CaCO <sub>3</sub>	1953	430
N-TOT	mg/l	120.96	83.72
P-Tot	mg/l	0	20.0
SAAM	mg/l	.75	.03
CIANURO	mg/l	0	0
ARSENICO	mg/l	0	0
NMP	N°/100ml	100	2000
Cr hexav	mg/l	0	0
PLOMO	mg/l	0	0
MERCURIO	mg/l	0	0
RAD. BETA	pc/l	88±37	143±25
NMP Fecal	N°/100ml	0	200
COBRE	mg/l	.015	.01
CINC	mg/l	0	.05
FIERRO	mg/l	6.0	4.5
Mn	mg/l	0	0
Ni	mg/l	0	0
PLAGUIC.	mg/l	0	0
FENOL	mg/l	.14	.05
BORO	mg/l	0	0
BARIO	mg/l	32.0	5.0
CADMIO	mg/l	0	0
SELENIO	mg/l	0	0
Al	mg/l	0	0
SDT	mg/l	8505	3930.5
TURB.	U.T.	3500	1500
C.E.	umohs/cm	9500	4700

Fuente: Estudios y Proyectos LUG, S.A.

FIGURA N° 16  
 PLANCTON OBSERVADO EN LA LAGUNA  
 DE SANTIAGUILLO, DGO. 1978

Nombre	Figura	Características
Amphipleura pellucida		Crisofita. Se encuentra a menudo en aguas con bajos contenidos de Ca y Mg y con pH abajo de 7.
Frustulia rhomboides		Crisofita. Aunque de la misma familia que la Amphipleura evita bajas concentraciones de Ca y Mg y aguas ácidas.
Caloneis amphisbaena		Crisofita. De la misma familia que las anteriores, vive tanto en aguas dulces como saladas.
Euglena convoluta		Euglenofita. Activa oxigenadora por contener gran cantidad de clorofila; vive de preferencia en aguas con fondos psamíticos.
Glenodium cinctum		Pirrofita. Son muchas las especies que viven en lagos y aguas con bajas velocidades.
Mallomonas caudata		Crisoficea. Propia de los lagos pero de aguas sucias.
Hypotrichidium conicum		Ciliofora. Muchos de este género son de aguas marinas, pero este prefiere las aguas dulces algo salobres.
Keratella americana		Rotifera. La cola larga indica aguas poco profundas; son muy resistentes a aguas con altas variaciones de pH, CO <sub>2</sub> , Ca y HCO <sub>3</sub> .
Diffugia limnetica		Protista. Se encuentra por estaciones anuales por sus temperaturas preferidas de 15° a 20° C. En invierno es rara.

Fuente: Murguía (1978)

TABLA N° 21  
 PLANCTON DESARROLLADO EN AGUAS NEGRAS ALMACENADAS  
 (MUESTRA SUPERFICIAL) N° por ml.

Fecha	Chlamidomona	Chlorococcum humicola	Chlorosarcina consociata	Coelastrium combrium	Nitzschia	Euglena	Pascheriella tetras	Botriococcus	Phacus
6-II	6500	660000							
20-II	790000								
27-II	469000								
2-III	622000								
9-III	338000								
7-IV	339000			18000	1000	7000			
13-IV	200000			2000		12000	1000	25000	
20-IV	127000					8000	1000	58000	
27-IV	133000				1000	53000			
4-V	63000							40000	
11-V						220000			
2-VI	26000				14000	2000		35000	
15-VI									1000
22-VI					5000	9000			8000
29-VI					1000	3000			9000
6-VII						2000			7000
13-VII					3000			2000	
20-VII					1000	4000			1000
27-VII				16000	1000	16000		1000	
3-VIII					1000	9000		40000	1000
10-VIII				14000		3000		10000	
5-X	2000		34000	5000					

FIGURA N° 17  
 REPRESENTACION GRAFICA

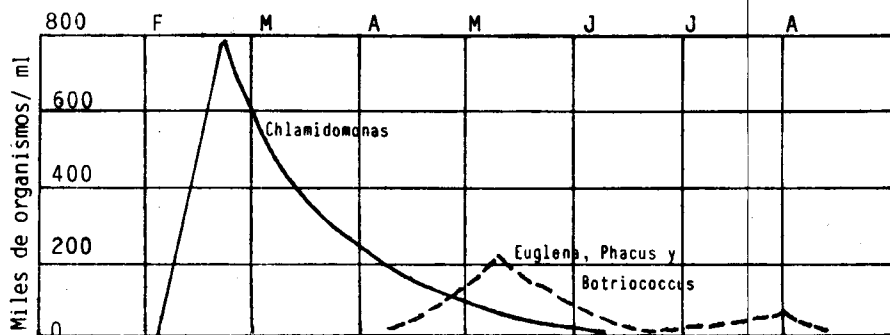


TABLA N° 22  
 PLANCTON DESARROLLADO EN AGUAS NEGRAS ALMACENADAS  
 (3.00 m profundidad) N°/ml.

Fecha	Chlamidomona	Coelastrium	Euglena	Nitzschia	Pascheriella	Botriococcus	Phacus	Pyrobolrys
20-II	389000							
9-III	150000							
7-IV	118000	2000	1000	2000				
13-IV	150000		2000	1000	1000	15000		
20-IV	49000		7000	1000		9000		
27-IV	51000		11000					
4-V	7000			1000		28000		
11-V			43000					
2-VI	7000					5000		
15-VI	7000					1000		
22-VI			2000	1000			1000	
29-VI			1000				4000	2000
6-VII							2000	
13-VII				2000		1000		1000
20-VII			1000	1000			1000	
27-VII		7000	12000	3000				
3-VIII			2000			5000		

FIGURA N° 18  
 REPRESENTACION GRAFICA

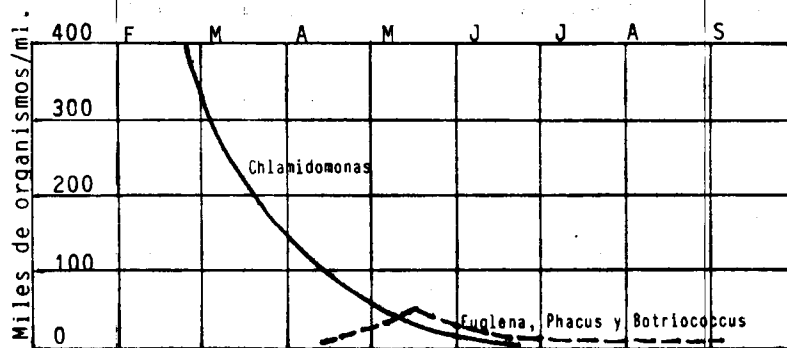
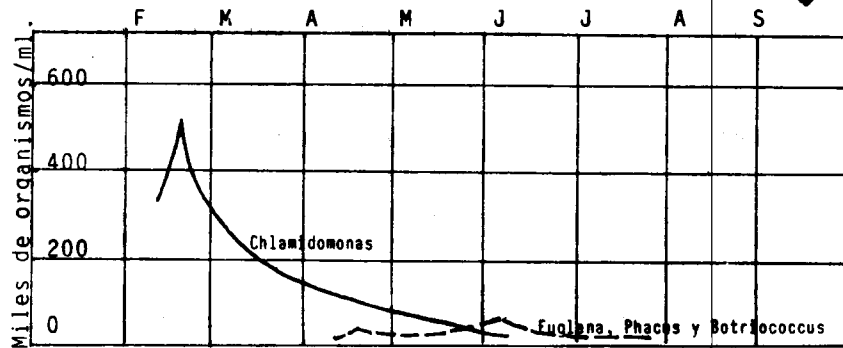


TABLA N° 23  
 PLANCTON DESARROLLADO EN AGUAS NEGRAS ALMACENADAS  
 (1.50 m profundidad) N°/ml

Fecha	Chlamidomona	Coelastrium cambri-cum	Euglena	Nitzschia	Chloro-sarcina consocia to	Botriococcus	Vorticella	Phacus	Pyro-botrys
16-II	338000								
20-II	490000								
27-II	260000								
9-III	280000								
7-IV	68000	1000							
13-IV	142000		5000						
20-IV	101000		5000	1000		6000			
27-IV	44000		3000			3000	1000		
4-V	36000			5000			20000		
2-VI	9000		2000	2000		23000			
15-VI	6000					10000			
22-VI			2000	4000				9000	
29-VI			2000					6000	1000
6-VII				4000				1000	1000
13-VII				2000		3000			
20-VII			1000	2000		5000			
27-VII			1000	4000		2000			
3-VIII			2000	3000		4000			
17-VIII		5000		40000		7000		6000	
5-X				1000	26000				

FIGURA N° 19  
 REPRESENTACION GRAFICA



FAC. DE INGENIERIA



La Figura N° 16 muestra el plancton observado (sin cuantificación) en la Laguna de Santiaguillo, Dgo. en el período de noviembre y diciembre de 1978<sup>(47)</sup>.

Las Tablas números 21, 22 y 23 muestran el plancton desarrollado en un tanque de aguas negras en la Región de El Mezquital, Hgo.<sup>(22)</sup> a partir de un mes de almacenamiento. Corresponden, la número 21 a la parte superficial del tanque; la número 22 a la parte media (1.50 m de profundidad) y la número 23 al fondo (3.00 m).

Las gráficas de las Figuras 17, 18 y 19 muestran la variación con respecto al tiempo de los organismos más numerosos, que fueron en orden de abundancia las *chlamidomonas* que debido a sus propiedades, fueron las primeras que se presentaron; a medida que las *chlamidomonas* disminuían, se desarrollaba el grupo de otras algas cuyos géneros fueron *eugleaa*, *phacus* y *botryococcus*. Se hace notar que el contenido máximo de estos últimos géneros, se obtuvo en el mes de mayo.

### 3.7. Ejercicios

- 1) Indique cuales son los parámetros que se clasifican como físicos y comente las técnicas de medición de cada uno para conocer sus valores tanto en el campo como en el laboratorio.
- 2) Obtenga teóricamente los valores de saturación del oxígeno disuelto a 20° y 25° C en el agua de la Ciudad de México.
- 3) Investigue sobre las propiedades y características principales de los detergentes. Redacte un breve escrito con sus comentarios.
- 4) Haga un resumen referente al parámetro biológico DBO. Tome como base lo que se indica en 3.5.1. y complémtelo con más información.
- 5) Describa lo que representa el NMP de bacterias coliformes como prueba bacteriológica en las aguas contaminadas. Complénte su informe con datos, ejemplos y lo que considere de interés respecto a este parámetro.

## CAPITULO 4

### USOS DEL AGUA Y SU CALIDAD

La contaminación por desechos industriales y domésticos ha sido tan grande en los últimos años, que no únicamente ha afectado a las corrientes de agua superficiales sino también a las subterráneas. Esta contaminación trae consigo, aparte del ataque a la salud pública, una pérdida en los propios recursos hidráulicos del país por lo que se hace necesario mantener el agua en buenas condiciones y resguardar de contaminación a la que todavía está libre de ella. Además, someter a tratamiento el agua servida de origen industrial y doméstico, con el fin de utilizarla nuevamente antes de perderla como desecho. Esto origina un nuevo recurso de orden secundario cada vez máspreciado.

Cada actividad que requiere de agua necesita que ésta se mantenga dentro de ciertos límites en su calidad. También debe considerarse que mientras más pobre sea la calidad, el uso queda restringido en proporción semejante.

Por estudios y experiencias, se han llegado a limitar ciertos contenidos a valores que se consideran apropiados o por lo menos no perjudiciales para el empleo a que se destina.

Los usos principales del agua son los que se indican a continuación:

Doméstico  
Industrial  
Riego agrícola  
Desarrollo y protección de fauna  
Propagación de peces y vida acuática  
Natación  
Canotaje y disfrute estético  
Energía y navegación

El Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación del Agua, que se comenta en el tema de Legislación, contiene una Tabla que indica la calidad que debe conservar un cuerpo receptor según los usos a que se destine. Independientemente de estos datos, en lo que sigue se indican las condiciones mínimas que debe tener el agua para cada uno de los usos antes mencionados.

#### 4.1. Uso doméstico.

Para tal fin se tienen las normas que marca la Secretaría de Salubridad y Asistencia en su Reglamento Federal sobre Obras de Provisión de Agua Potable; pero en una forma más general referente a las fuentes y de acuerdo al estado original del agua, la Tabla N° 24 da a conocer la información que debe observarse para usarlas directamente o a través de un proceso de potabilización<sup>(25)</sup>.

#### 4.2. Agua para la industria

Los requerimientos de calidad del agua en la industria son de gran complejidad, siendo muy amplios y variados no solo por el tipo de industria sino también porque una misma fábrica puede utilizar el agua para diferentes actividades; tampoco ha sido posible establecer con precisión cantidades determinadas según sus productos.

Las industrias en general solicitan el agua con características relativamente constantes, siendo de preferencia la de calidad potable, que en caso de contener elementos indeseables, se eliminarán a través de tratamientos

TABLA N° 24  
CALIDAD RECOMENDABLE DEL AGUA CRUDA PARA  
USO DOMESTICO

	Excelente, solo requiere desinfección	Buena, requiere filtración y desinfección	Pobre, requiere tratamiento especial y desinfección
DBO (mg/l) promedio mensual máximo diario o por muestra	0.75 - 1.5	1.5 - 2.5	más de 2.5
	1.0 - 3.0	3.0 - 4.0	más de 4.0
Coliforme (NMP/100 ml) promedio mensual máximo diario o por muestra	50 - 100	50 - 5000	más de 5000
	menos del 5 % sobre 100	menos del 20 % sobre 5000	menos del 5 % sobre 20000
Oxígeno disuelto: promedio (mg/l) % de saturación	4.0 - 7.5	4.0 - 6.5	<4.0
	75 o más	60 o más	---
pH promedio	6.0 - 8.5	5.0 - 9.0	3.8 - 10.5
Cloruros (mg/l)	50 o menos	50 - 250	más de 250
Fluoruros (mg/l)	menos de 1.5	1.5 - 3.0	más de 3.0
Compuestos fenólicos (mg/l)	nada	0.005	más de 0.005
Color (unidades)	0 - 20	20 - 150	más de 150
Turbiedad (unidades)	0 - 10	10 - 250	más de 250

Fuente: McKee-Wolf (1963)

que corren por cuenta del usuario. Existen algunos estudios bastante completos con respecto a las normas de calidad requeridas para el agua en ciertas industrias, mientras que para otras sólo se han analizado de un modo general.

#### 4.3. Riego agrícola

Relacionado con la calidad del agua y desde el punto de vista de contaminación, interesa el uso agrícola por el contacto directo con el hombre. Se consideran tres grupos para el agua destinada a riego:

1. Excelente a buena o para todo cultivo.
2. Buena a perjudicial o para ciertos cultivos y bajo condiciones especiales.
3. Perjudicial a insatisfactoria o nociva a la mayoría de los cultivos.

1-En cuanto a las características bacteriológicas:

Grupo 1:

aguas superficiales

NMP presuntivo promedio: 500/100 ml

NMP confirmativo promedio: 50/100 ml

aguas subterráneas

NMP presuntivo promedio: 1500/100 ml

Grupo 2:

NMP presuntivo promedio: 2400/100 ml

NMP presuntivo máximo: 4600/100 ml

2-Respecto a las características físicas y químicas:

Concepto	Grupo 1	Grupo 2
Residuos flotantes	ausentes	ausentes; no debe ser rechazada por animales
Radio (226)	3 pc/l	3 pc/l
Estroncio (90)	10 pc/l	10 pc/l
Actividad beta total	1 pc/l	1 pc/l

3-Por salinidad del agua, los siguientes límites en me/l

condiciones del suelo	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
baja filtración	3	3.5	5
filtración regular	5	5 - 10	10
infiltración profunda	7	7 - 15	15

4-Por otros elementos

	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
Na (%)	30 - 60	30 - 75	70 - 75
B (mg/l)	0.5-1.5	0.5-2.0	2.0-3.75
Cl (me/l)	2-5.5	2-16	6-16
SO <sub>4</sub> (me/l)	4-10	4-20	12-20
C.E. $\mu$ mhos/cm	500	500-3000	2500-3000
Sales totales (mg/l)	700	350-2100	1750-2100

Un límite para el uso del agua en riego, aunque independientemente de su grado de contaminación pero relacionado con ella, es la relación de adsorción de sodio (RAS)

$$RAS = \frac{Na}{\left[ \frac{1}{2} (Ca + Mg) \right]^{1/2}}$$

donde Na, Ca y Mg son las concentraciones de los iones en miliequivalentes por litro de agua.

La Figura Nº 20 contiene un diagrama muy usado en problemas de riego para clasificar las aguas respecto al contenido de sodio y conductividad eléctrica<sup>(48)</sup>.

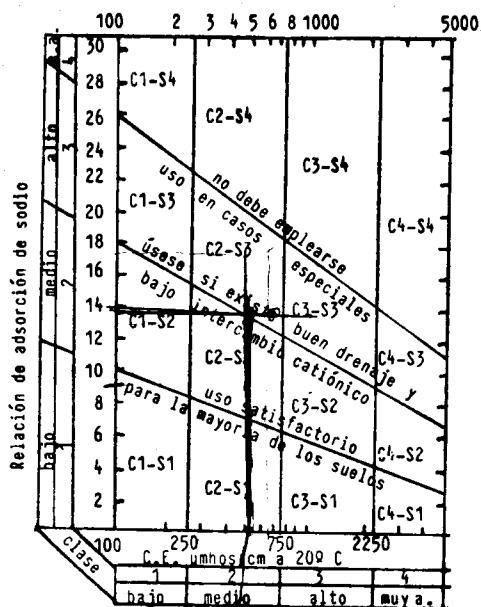


FIGURA Nº 20. Diagrama para definir calidad del agua para riego agrícola.

#### 4.4. Desarrollo y protección de fauna

Está limitado este uso según la salinidad para efectos de bebida de acuerdo a la tolerancia de algunos animales como puede ser la siguiente:

Animal	Concentración salina máxima (mg/l)
Aves de corral	2860
Cerdos	4250
Caballos	6435
Ganado lechero	7150
Ganado para carne	10000
Ovinos adultos	12900

Otra clasificación basada en la capacidad de desarrollo indica para este uso:

Tipo de agua	Concentración salina (mg/l)
Buena	2500
Aceptable	2500-3500
Pobre	3500-4500
Inapropiada	más de 4500

#### 4.5. Propagación de peces y vida acuática

Interviene para este uso una gran cantidad de limitantes entre los que destacan los siguientes:

- Oxígeno disuelto no menor a 5 mg/l
- pH de 6.7 a 8.6 con límites extremos de 6.3 a 9.0
- Conductividad eléctrica a 25° C de 150 a 500  $\mu$ hos por centímetro con un máximo de 1000 a 2000 en escurrimientos sobre áreas alcalinas.
- CO<sub>2</sub> libre de 5.9 mg/l (3 ml/l)
- Amoniaco no más de 1.5 mg/l
- Sólidos suspendidos tales que permitan la penetración de la luz a no menos de 5 m.
- NMP no mayor de 70/100 ml. No más del 10 por ciento de las muestras pueden sobrepasar un NMP de 230/100ml

En áreas restringidas el NMP puede ser hasta 10 veces mayor, pero debe desecharse si lo provocan descargas industriales. Existen otros límites más amplios pero si se aceptan debe ser solamente bajo vigilancia tanto para el desarrollo sano del pez como para evitar la transmisión de enfermedades por ingestión o por el manejo al hacer la limpieza antes de cocinarlo.

**4.6. Agua para natación**

Queda limitado por tres condiciones principales:

1. Agradable aspecto sin materia flotante ni color y olor ofensivos.
2. Sin sustancias tóxicas a la ingestión o a la irritación de piel.
3. Libre razonablemente de organismos patógenos.

La más importante es la última, ya que se ha observado que durante las temporadas vacacionales se enferman de fiebre tifoidea una de cada 950 personas cuando existen 1000 colis por 100 ml y se enferman de diarrea una de cada 50 personas bajo esa misma cantidad de colis.

Por seguridad debe adoptarse la siguiente clasificación:

Clase de agua para baño	NMP/100 ml
Buena	0-50
Dudosa	51-500
Mala	501-1000
Muy mala	más de 1000

En general se aceptan los límites indicados para agua potable, con valores hasta del 300 por ciento; pH de 6.5 a 8.5; y detergentes en no más de 1.0 mg/l

**4.7. Canotaje y disfrute estético**

Las aguas para recreación pero no para natación, pueden contener valores del NMP hasta de 5000/100 ml durante las temporadas de vacaciones. La superficie debe estar libre de sólidos flotantes; el contenido de ABS no debe exceder de 1.0 mg/l a fin de evitar la formación de espuma.

**4.8. Energía y navegación**

Para este uso el agua debe estar libre de sustancias tales como: ácidos, álcalis y salinidad excesiva que acelere la corrosión y deterioro de ductos y vehículos; de sólidos flotantes; sedimentos y sólidos suspendidos; materia orgánica putrecible que genere malos olores; algas,



98 Evaluación, efectos y solución de la contaminación de aguas  
gusanos; aceites que pudieran provocar incendios.

4.9. Ejercicios

- 1) De acuerdo al uso del agua, comente los límites de los parámetros principales que deben considerarse:
  - a) En explotación agrícola
  - b) En piscicultura.
- 2) Investigue sobre la calidad del agua que requieren ciertas industrias (seleccione una) y comente la causa de los límites indicados.

## CAPITULO 5

### INDICE DE CALIDAD

#### 5.1. Evaluación de la contaminación

A fin de conocer el estado que guarda el agua respecto a su calidad, se hace uso de ciertos parámetros característicos que rigurosamente pueden llegar a ser del orden de cientos; sin embargo no todos son necesarios para la mayoría de las investigaciones, pudiéndose disminuir a solo decenas. Entre éstos se hallan las determinaciones de oxígeno disuelto, DBO, DQO, pH, temperatura, turbiedad, conductividad eléctrica, NMP coliforme y plancton. Además, los que pudieran servir en particular y según los objetivos del estudio como: detergentes, metales pesados y sustancias tóxicas. Por ejemplo, si el agua que se investiga sostiene una basta extensión agrícola, los parámetros solicitados en el análisis serán diferentes a los del agua que se usa para producción de peces y también serán distintos a los del agua destinada para recreación; de todas maneras, subsisten parámetros comunes que son en general los mínimos a que se ha hecho referencia.

El tipo y forma de análisis a que se someten las mues-

tras dependen de la magnitud del proyecto, recursos económicos y algo que siempre se escatima: el tiempo disponible.

Es deseable que la investigación de proyecto a tiempos que lleguen a cubrir la intervención de los fenómenos naturales como lluvias, días soleados, cambios de temperatura ambiente, vientos, etc; lo que en muchos casos se logra en apenas un año completo. Peor será cuando se cubran ciclos vitales de plancton, peces y crustáceos.

El número y frecuencia de los muestreos debe ser objeto de estudios minuciosos que finalmente definan el plan a seguir durante la etapa de investigación ya que de esta información se derivarán los resultados y medidas correctivas a emplear. Es aquí donde debe considerarse el aspecto económico porque implica muchas veces el uso de equipo especializado, personal competente y experimentado, así como laboratorios fijos o móviles con todos los elementos para efectuar los análisis solicitados.

Rigurosamente con estas actividades se inicia o complementa la fase de evaluación puesto que la tabla de resultados de los análisis físicos, químicos, biológicos y microscópicos realizados, podrán compararse con los valores aceptables para el uso a que se destina esa agua y con ello, definir la forma de eliminar o disminuir los contenidos que se consideren en demasía. Sin embargo, esta evaluación solo puede ser hecha por un experto y quizá varíe según el criterio de un investigador a otro. Por eso se ha buscado y se propone una metodología para definir un índice de calidad<sup>(26)</sup> que es producto de teorías expuestas por especialistas en el ramo.

## 5.2. Índice de calidad

Mediante el índice de calidad se logra un patrón de comparación entre los distintos cuerpos de agua, comprendido con mayor claridad por el público en general. No obstante que se logra un valor de conjunto, debe considerarse

el resultado de cada uno de los parámetros que intervienen, con objeto de dilucidar efectos específicos. En parte esta observación está contemplada al definir la curva y su ecuación de los factores, así como por el coeficiente que se propone asignarle por importancia a cada parámetro.

El índice de calidad varía de 0 a 100. El valor nulo corresponde al peor caso y el máximo a la calidad óptima. Se puede conocer aplicando la ecuación:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n (I_i w_i)}{\sum_{i=1}^n w_i}$$

I = Índice de calidad general

I<sub>i</sub> = Índice de calidad del parámetro considerado

w<sub>i</sub> = Valor de la importancia relativa del parámetro considerado

La Tabla Nº 25 contiene los valores de la importancia relativa para 18 parámetros que se proponen como básicos en el estudio de referencia.

**TABLA Nº 25**  
**IMPORTANCIA RELATIVA DE LOS PARAMETROS PARA**  
**DEFINIR EL INDICE DE CALIDAD.**

Parámetro	Importancia relativa	Parámetro	Importancia relativa
pH ✓	1.0	N de nitratos ✓	2.0
Color	1.0	N amoniacal ✓	2.0
Turbiedad	0.5	Fosfatos totales	2.0
Grasas y aceites ✓	2.0	Cloruros	0.5
Sólidos suspendidos ✓	1.0	Oxígeno disuelto ✓	5.0
Sólidos disueltos	0.5	DBO ✓	5.0
Conductividad eléctrica	2.0	Coliformes totales ✓	3.0
Alcalinidad	1.0	Coliformes fecales ✓	4.0
Dureza total	1.0	Detergentes (SAAM)	3.0

Fuente: SARH (1979)

102 Evaluación, efectos y solución de la contaminación de aguas

Las ecuaciones definidas para el índice de calidad individual de cada uno de los 18 parámetros seleccionados para conformar el índice general, son las siguientes:

1) pH

$$I_{pH} = 10^{0.2335pH + 0.440} \quad \text{Si el pH es menor que 6.7}$$

$$I_{pH} = 100 \quad \text{Si pH está entre 6.7 y 7.3}$$

$$I_{pH} = 10^{4.22 - 0.293pH} \quad \text{Si pH mayor que 7.3}$$

2) Color

$$I_c = 123(C)^{-0.295} \quad (C) \text{ en unidades de color escala de platino-cobalto}$$

3) Turbiedad

$$I_t = 108(t)^{-0.178} \quad (t) \text{ en U T J}$$

4) Grasas y aceites

$$I_{GyA} = 87.25(GyA)^{-0.298} \quad (GyA) \text{ en mg/l}$$

5) Sólidos suspendidos

$$I_{ss} = 266.5(ss)^{-0.37} \quad (ss) \text{ en mg/l}$$

6) Sólidos disueltos

$$I_{sd} = 109.1 - 0.0175(sd) \quad (sd) \text{ en mg/l}$$

7) Conductividad eléctrica

$$I_{CE} = 540 (CE)^{-0.379} \quad (CE) \text{ en } \mu\text{mhos/cm}$$

8) Alcalinidad

$$I_a = 105(a)^{-0.186} \quad (a) \text{ en mg/l como CaCO}_3$$

9) Dureza total

$$I_D = 10^{1.974 - 0.00174(D)} \quad (D) \text{ en mg/l como CaCO}_3$$

10) N de nitratos

$$I_{NO_3} = 162.2(NO_3)^{-0.343} \quad (NO_3^-) \text{ en mg/l}$$

11) N amoniacal

$$I_{NH_3} = 45.8(NH_3)^{-0.343} \quad (NH_3) \text{ en mg/l}$$

12) Fosfatos totales

$$I_{PO_4} = 34.215(PO_4)^{-0.46} \quad (PO_4^{3-}) \text{ en mg/l}$$

13) Cloruros

$$I_{Cl} = 121(Cl)^{-0.223} \quad (Cl^-) \text{ en mg/l}$$

14) Oxígeno disuelto

$$I_{OD} = \frac{(OD)}{OD \text{ sat}} 100 \quad \begin{array}{l} (OD) \text{ mg/l a } T^\circ \text{ de campo} \\ OD \text{ sat mg/l de saturación} \\ \text{a misma } T^\circ \text{ de campo} \end{array}$$

15) Demanda bioquímica de oxígeno

$$I_{DBO} = 120 (DBO)^{-0.673} \quad (DBO) \text{ en mg/l}$$

16) Coliformes totales

$$I_{CT} = 97.5 (CT)^{-0.27} \quad (CT) = \text{NMP coli/ml}$$

17) Coliformes fecales

$$I_{Ec} = 97.5 [5(Ec)]^{-0.27} \quad (Ec) = \text{Escherichia coli/ml}$$

18) Detergentes

$$I_{SAAM} = 100 - 16.678(SAAM) + 0.1587 (SAAM)^2 \quad (SAAM) \text{ en mg/l}$$

De acuerdo al uso del agua puede verse en la Tabla N° 26 la calidad adecuada para el uso que se indica, en función del índice obtenido de la manera antes explicada.

### 5.3. Ejercicios

- 1) Grafique la ecuación del índice de calidad de cada parámetro.
- 2) Grafique según su criterio la curva de calidad

**TABLA N° 26**  
**USOS DEL AGUA SEGUN INDICE DE CALIDAD**

100	NO REQUIERE PURIFICACION	ACEPTABLE PARA CUALQUIER DEPORTE ACUATICO	ACEPTABLE PARA TODOS LOS ORGANISMOS	NO REQUIERE PURIFICACION	ACEPTABLE	ACEPTABLE
90	LIGERA PURIFICACION			LIGERA PURIFICACION PARA ALGUNOS PROCESOS		
80	MAYOR NECESIDAD DE TRATAMIENTO	ACEPTABLE PERO NO RECOMENDABLE	SIN TRATAMIENTO PARA INDUSTRIA NORMAL			
70		EXCEPTO ESPECIES MUY SENSIBLES DUDOSO PARA ESPECIES SENSIBLES				
60		DUDOSO PARA CONTACTO DIRECTO	CON TRATAMIENTO EN LA MAYOR PARTE DE LA INDUSTRIA			
50	DUDOSO	SOLO ORGANISMOS MUY RESISTENTES	USO MUY RESTRINGIDO	RESTRINGIDO		
40	SIN CONTACTO CON EL AGUA					
30	INACEPTABLE	USO MUY RESTRINGIDO	USO MUY RESTRINGIDO	INACEPTABLE		
20		INACEPTABLE	INACEPTABLE			
10		INACEPTABLE	INACEPTABLE			
0	ABASTECIMIENTO PUBLICO	RECREACION	PESCA Y VIDA ACUATICA	INDUSTRIAL Y AGRICOLA	NAVEGACION	TRANSPORTE DE DESECHOS TRATADOS

de la DQO, de la temperatura y del mercurio. Obtenga la ecuación que mejor se adapte a la curva trazada para cada uno de esos parámetros.

- 3) Con los datos de la Tabla N° 18 obtenga el índice de calidad para cada uno de los ríos consignados.
- 4) Tómense los análisis de la Tabla N° 20 y obtenga los índices de calidad en los dos sitios muestreados en el colector de la Ciudad de León, Gto. Comente los resultados.

## CAPITULO 6

### ECOLOGIA Y CONTAMINACION ACUATICA

#### 6.1. Diversas interrelaciones

La influencia de la contaminación del agua en plantas y animales se tiene que analizar considerando la estrecha relación con la contaminación del aire y en ambos casos, evitar un rompimiento del equilibrio ecológico establecido miles de años atrás.)

Ejemplo de un equilibrio ecológico sostenido entre plantas y animales se tiene en el contenido salino de las aguas marinas, que aunque la salinidad puede ser variable, la composición siempre permanece constante. Para este equilibrio, aunque no se conoce con precisión la causa, influyen las plantas y animales marinos que poseen la capacidad de absorber del agua los más variados elementos y concentrarlos en sus cuerpos: los animales requieren para la construcción de sus conchas y esqueleto, enormes cantidades de calcio y silicio; las algas y las esponjas extraen del agua yodo; las ostras cobre; las medusas zinc, estaño y plomo; los ascidios vanadio; las radiolarias estroncio. Anualmente las algas toman miles de millones de toneladas



de carbono e hidrógeno del agua y despiden otro tanto de oxígeno que liberan a la atmósfera, constituyéndose en la fuente principal de la producción de este gas.

Como ejemplo de equilibrio relacionando al agua con el aire, se puede mencionar al bióxido de carbono que se encuentra en solución en el mar y como mezcla en la atmósfera, pero existe un intercambio continuo de este gas entre ambos medios. El gran consumo de bióxido que hacen anualmente las plantas de la tierra y las algas marinas (175 millones de toneladas), se compensa mediante la eliminación del gas carbónico durante los procesos de putrefacción y respiración, aunada a la actividad técnica en incremento, principalmente por el uso de combustibles.

Desde el tiempo de la revolución industrial, el aumento de gas carbónico en la atmósfera fue del 12 por ciento; según los cálculos de algunos investigadores, en los próximos cien años aumentará en un 70 a 80 por ciento.

El  $\text{CO}_2$  tiene la capacidad de retener y no dejar pasar al espacio cósmico la radiación calorífica de la superficie de la tierra; mientras mayor sea la cantidad de este gas en la atmósfera, más caliente será el clima. Se supone que al aumentar al doble su contenido, la temperatura media del aire puede aumentar entre 3 y 4° C. Este aparentemente pequeño incremento, sería la causa de un gigantesco desequilibrio hidrológico, por derretirse gran parte de los hielos polares y glaciares. Por otro lado, tratando la naturaleza de regenerar el equilibrio, seguramente se acentuaría el intercambio de este gas en la atmósfera con las aguas del mar, mediante fenómenos de volcamientos térmicos o por el incremento de materia vegetativa para absorberlo mediante la función fotosintética.

Se aprecia y salta a la vista, la importancia de no alterar la vida acuática microscópica y en general, de plantas y animales independientemente de su tamaño, para mantener las relaciones que fructifican en un sistema ecológico que engloba al hombre.

Otra de las manifestaciones de equilibrio, consiste en la aptitud del agua para autopurificarse con el auxilio de bacterias: solamente la *Sphaerotilus natans*, en un depósito de agua de un kilómetro cuadrado de superficie, asimila en 24 horas hasta 30 toneladas de materia orgánica, de la cual las dos terceras partes se transforma en sales minerales. Las bacterias son comidas por los infusorios; los infusorios sirven de alimento a los animales más grandes y las sales aprovechadas por la vegetación acuática. Si la contaminación es muy alta, tanto que la dilución del agua no sea suficiente y provoque el agotamiento del oxígeno disuelto, intervienen otros procesos biológicos distintos a cuando se conserva parte de este gas; pero siempre y afortunadamente, es posible que se efectúe la autopurificación. El que no llegue a verificarse en muchos casos, se debe a que nuevas aportaciones de desecho contaminante son arrojados a los cuerpos receptores, reiniciándose el proceso que no tiene oportunidad de terminar. Es así solamente cuando empieza a constituirse un problema de contaminación por descargas de aguas negras.

Depende del grado de contaminación para que subsistan ciertas clases de algas, bacterias y gusanos; pero en términos generales, la composición media de los desechos domésticos no son ofensivos a este tipo de vida. De hecho, para estos seres así como para algunas especies superiores, el daño no es directo, pero sí lo pueden pasar al humano.

Las algas y bacterias en estrecha simbiosis efectúan un proceso de aceleración en la depuración de las aguas. Este principio es el empleado en las lagunas de estabilización para aguas negras domésticas y para ciertos desechos industriales. Por esta causa los estudios microscópicos y limnológicos son de gran ayuda a la interpretación, valoración y proyecto sobre contaminación de aguas y su tratamiento o autodepuración.

## 6.2. Comentarios sobre algunos parámetros

### 6.2.1. Temperatura.

A los peces les afecta la temperatura; un pez no puede vivir en aguas con más de 35° C; se desarrollan bien entre 15 y 25° C. Las algas se extinguen o florecen según la temperatura prevalente en el medio; las cianofitas proliferan y son muy resistentes a temperaturas altas pero son poco deseables por su baja acción fotosintética y porque muchas son tóxicas.

### 6.2.2 Detergentes.

(El detergente es actualmente un parámetro clásico para detectar contaminación por aguas negras y se le han atribuido daños que más por toxicidad, se deben a sus propiedades.)

De algunos estudios sobre detergentes en colaboración con la antigua Comisión Hidrológica de la Cuenca del Valle de México, se dedujo que (a los peces los afecta cuando se halla presente en más de 4.0 mg/l ya sea con o sin enzimas<sup>(21)</sup>. Este daño se debe principalmente a la propiedad de los detergentes de abatir la tensión superficial del agua y no permitir que el pez extraiga de ella el oxígeno disuelto para su respiración a través de la fricción de sus branquias;

Los detergentes desechados por una industria a un río en los Estados Unidos de Norteamérica, fueron la causa de que varios patos no pudieran sostenerse a flote y murieran ahogados,<sup>(19)</sup> la causa fue otra propiedad de los detergentes: haber emulsionado la grasa del plumaje.

(Los animales superiores están dotados de un instinto por el cual dejan de comer o beber un alimento o líquido que les pueda dañar) sin embargo, como el ganado ribereño del Río Pánuco sacia su sed ingiriendo aguas altamente contaminadas, se investigó en colaboración con la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM, el efecto

que pudiera tener el detergente en los becerros. Para ello se sometieron varios animales a dosis de hasta 150 mg/l de detergente en su agua de bebida. Lo notable del caso fue que los becerros que tomaban agua con dosis entre 20 y 70 mg/l registraron un desarrollo aunque ligero, pero mayor que el testigo (0.0 mg/l). Aún antes de darles a beber esta agua, la orina y heces fecales acusaban detergente; por lo tanto el alimento que recibían y comprobado posteriormente, ya contenía detergente<sup>(21)</sup>.

### 6.2.3. Aguas negras

El Valle de El Mezquital, Hgo. ha sido regado desde principios del siglo con aguas negras provenientes de la Ciudad de México; independientemente de la contaminación, ha sido la causa de formar suelos que varían de 10 a 15 cm de espesor pero que son capaces de sostener cultivos.

Por los años de 1967 a 1968, los ejidatarios de esa región se quejaron de un bajo rendimiento en sus productos, relacionándolo con la aparición de espuma en las aguas del Gran Canal del Desagüe (nuevamente el detergente). Al estudiarse en colaboración con la Universidad Autónoma de Chapingo este fenómeno, quedó al descubierto que el detergente en sí, no causa efectos notables en los cultivos ni durante su desarrollo ni en su productividad. Aún cuando no se tiene un fundamento estadístico de importancia, se dedujo que el frijo asimila parte de los productos ionizados del detergente como sulfatos y sodio<sup>(21)</sup>.

El peligro de la contaminación bacteriológica de productos cultivados con aguas negras, disminuye con la forma y detalle del lavado. De estudios realizados en el Instituto de Ingeniería de la UNAM<sup>(21)</sup> parece ser que la contaminación es de tipo superficial; la suposición la apoya el hecho de que la totalidad de las pruebas realizadas en jitomates, dieran resultados libres de contaminación; sin embargo, debe tenerse presente que éstos y otros pro-

ductos semejantes, se ven altamente alterados cuando los insectos deterioran su cubierta protectora. Sometidas a cocción se anula la contaminación.

#### 6.2.4. Desechos industriales.

Otra cosa sucede con la contaminación causada por desechos industriales; son tan variados sus contenidos como sus efectos. Simplemente el cambio de pH puede acabar con todo ser acuático. Contienen en general fenoles, anilinas y tóxicos diversos según el proceso. En la Tabla N° 27 se dan algunos datos de los análisis de desechos industriales<sup>(29)</sup>

#### 6.3. Ejercicios

- 1) Describa los sistemas ecológicos establecidos en
  - a) lagos
  - b) lagunas
  - c) océanose indique cómo pudieran ser afectados por un incremento de contaminantes.
- 2) Amplíe con sus comentarios los efectos contaminantes de
  - a) grasas y aceites
  - b) turbiedad
- 3) Investigue y describa las características de algunas industrias no listadas en la Tabla N° 27.

TABLA N° 27  
CARACTERISTICAS DE ALGUNOS DESECHOS INDUSTRIALES

INDUSTRIA	Q m <sup>3</sup> /día	T °C	pH -	Ssed ml/l	CONCENTRACIONES EN mg/l											
					ST	SST	Ntot	PO <sub>4</sub>	DBO	DQO	GyA	Cr <sup>+3</sup>	Cr <sup>+6</sup>	CN	Pb	
CURTIDURIA (Cr)	800	23	8.0	80		3125	86			4390	4800	195	78			
CURTIDURIA (Cr)	150	22	5 - 8	100	3131	1034	29			1452	1586	39	26			
CURTIDURIA (tanino)	150	22	11.0	118		833	53			3573	4167	200				
CURTIDURIA (Cr)	18	23	6.0	90	6734	2222	62			3123	3412	84	55			
ACABADO DE METALES		22	6.5-9			312								100	100	5
QUIMICA		28	6.6	9	7992	797	67	126	303	792	59					
CAFE (despupa)	18.5		5.3		6294	150	84	22	1659	8124	42					
CAFE (lavado)	18.2		4.8		5917	50	95	22	1635	8348	51					
AZUCAR REFINADA		36	7.0	3	1802	610	5		1091	1170	147					
DESTILERIA			4.6	1	97222	33400	446	1250	91520	22000	3					
ALIMENTICIA	225	17	4 - 7	9		1000			3000	5000	1000					
ALIMENTICIA	165	25	9.5	28		2500			4000	4600	1120					
ALIMENTICIA	67	22	3 - 9	26		350			2000	5000	300					
VITIVINICOLA	880		3.5	4		4224	6		1260	5798	44					
VITIVINICOLA	120		3.0	4	1516	236	11		2450	10000	14					
VITIVINICOLA	10			4		10000	300		2000	20000	30					
CERVECERA	32500		10.0	8			11		601	698	56					

Fuente: SRH (1976)

## CAPITULO 7

### ASPECTOS LEGALES DE LA CONTAMINACION DE AGUAS

#### 7.1. Necesidad de legislar

Con el advenimiento de la industrialización y el incremento de la población mundial, se presenta el problema cada vez más incontrolable de la contaminación del agua. El hombre al darse cuenta de la importancia de cuidar su medio para el bienestar propio y para dejarlo de un modo tal que no altere las condiciones ecológicas del mismo para generaciones posteriores, se ha dado a la tarea de crear leyes y reglamentos que regulen el aprovechamiento, consumo y reincorporación de caudales usados en las diversas actividades para no contaminar el preciado líquido.

La inquietud por legislar a fin de mantener un ambiente sano, se remonta a épocas bíblicas y aunque no es difícil encontrar leyes al respecto en cualquier época de nuestro desarrollo, ya más recientemente, hace unos 150 años, comienzan a proliferar, sobre todo con objeto de proteger la pesca que fue una de las fuentes de trabajo afectadas en mayor proporción por la incipiente contaminación.

En la mayoría de los casos las leyes son de tipo nacio-

nal, pero existen varios ríos que sirven de frontera o atraviesan a dos o más países, quedando su aspecto legal en manos del derecho internacional.

A este respecto Las Naciones Unidas han realizado investigaciones, estudios y planeaciones tendientes a unificar, atenta la experiencia de los diferentes países miembros, una legislación en materia de contaminación de las aguas que resulte idónea para los nacionales de cada país y que no signifique un daño o una amenaza para los otros<sup>(4)</sup>.

El propósito de legislar sobre contaminación de aguas es conservar en lo posible, las cualidades de los recursos superficiales y subterráneos, así como proteger el ambiente biológico e incrementar las actividades relativas a la conservación y desarrollo de la flora y la fauna acuática y terrestre. Se busca también reducir el grado actual de contaminación para velar por la salud pública y garantizar que pueda usarse directamente o con ligeros tratamientos en el uso potable.

#### 7.2. Legislación Nacional.

En México el problema de la contaminación como fenómeno mundial, requiere de una atención especial debido a que el país sigue industrializándose y por ende desaloja una mayor cantidad de desechos en sus corrientes, contribuyendo a aumentar el grado de contaminación en que se encuentran éstas.

El problema de la contaminación no sólo se presenta en los grandes conjuntos urbanos, sino que se extiende al medio rural y a poblados pequeños. Sin embargo, es en las áreas densamente pobladas o industrializadas donde se acentúa; en este caso, es el Valle de México el que reviste las características más alarmantes: la cantidad enorme de residuos generados por la población; la colecta y hacinamiento diario de basura; los desperdicios industriales; y las frecuentes tolvánicas, han producido visible deterioro al medio.



La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos de 1917, expresa en su Artículo 27 lo siguiente en relación al agua y para evitar los daños que pudiera sufrir la sociedad por su mal uso:

Artículo 27.- La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional corresponden originariamente a la Nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares constituyendo la propiedad privada.

Las expropiaciones sólo podrán hacerse por causa de utilidad pública y mediante indemnización.

La Nación tendrá en todo tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público, así como el de regular el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, para hacer una distribución equitativa de la riqueza pública y para cuidar de su conservación. Con este objeto, se dictarán las medidas necesarias para el fraccionamiento de los latifundios; para el desarrollo de la pequeña propiedad agrícola en explotación; para la creación de nuevos centros de población agrícola con las tierras y aguas que les sean indispensables; para el fomento de la agricultura, y para evitar la destrucción de los elementos naturales y los daños que la propiedad pueda sufrir en perjuicio de la sociedad. (...)

En el Código Sanitario (Diario Oficial 13 de marzo de 1973) se expresaba lo siguiente, pues fue abrogado por la Ley de Salud:

ARTICULO 1º.- Las disposiciones de este Código rigen la salubridad general en todo el territorio nacional, son de orden e interés público, así como de interés social.  
(...)

ARTICULO 3º.- En los términos de este Código es materia de Salubridad general:

- I.- La promoción de la salud física y mental de la población;
- II- El mejoramiento de la nutrición y de la higiene, incluyendo la ocupacional;
- III-El saneamiento del ambiente;
- IV- La prevención y control de enfermedades y accidentes que afecten la salud pública;  
(...)
- XIV-El conocimiento e información relativos a las condiciones, recursos y actividades de salud pública en el país y
- XV -Las demás actividades y materias que establece este Código, así como las que regulen otras leyes federales que se relacionen con la conservación, restaura-

ción y mejoramiento de la salud de la colectividad.

(...)

ARTICULO 34.- La Secretaría de Salubridad y Asistencia en coordinación con la Secretaría de Educación Pública, formulará programas educativos populares para la prevención de enfermedades, asistencia médica y rehabilitación, especialmente en lo referente a salud materno infantil, salud mental, mejoramiento del ambiente, nutrición, accidentes y responsabilidad y planeación familiar, atendiendo a principios científicos y éticos.

(...)

Cabe resaltar que el Código Sanitario trata en su Título Tercero lo relativo al saneamiento del ambiente; lo inicia con el Artículo 44 como Disposiciones Generales y continúa con capítulos destinados a la atmósfera, el suelo y el agua:

ARTICULO 44.- La Secretaría de Salubridad y Asistencia realizará actividades de mejoramiento, conservación y restauración del medio ambiente tendiente a preservar la salud así como de prevención y control de aquellas condiciones del ambiente que perjudiquen a la salud humana. El Consejo de Salubridad General dictará disposiciones generales sobre estas materias.

(...)

ARTICULO 46.- La Secretaría de Salubridad y Asistencia realizará y fomentará investigaciones y promoverá programas, cuya finalidad sea la preservación de los sistemas ecológicos y el mejoramiento del medio, así como aquellos para el desarrollo de técnicas y procedimientos que permitan prevenir, controlar y abatir la contaminación del ambiente.

(...)

ARTICULO 53.- Es atribución de la Secretaría de Salubridad y Asistencia, la prevención y control de la contaminación del agua para consumo humano, uso doméstico y aprovechamiento agrícola o industrial, cuando dañe o pueda dañar la salud de los seres humanos, sin perjuicio de la aplicación de los ordenamientos vigentes que sobre la materia, contiene la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación ambiental y la Ley Federal de Aguas.

ARTICULO 54.- El Ejecutivo Federal determinará las condiciones que deberán llenar las aguas para el consumo, uso y aprovechamiento a que se refiere el artículo anterior.

ARTICULO 55.- El Consejo de Salubridad General dictará disposiciones sanitarias generales sobre las siguientes materias:

- 1.- Ejecución de obras de abastecimiento de agua potable y desagüe de ciudades y poblados, así como la modi-

ficación y ampliación de los sistemas ya establecidos, que se efectúen por las autoridades federales y por particulares.

II.-Zonas de protección de ríos, manantiales, depósitos y en general, fuentes de abastecimiento de agua para el servicio de las poblaciones; y

III-Ejecución de obras relacionadas con el alejamiento, tratamiento y destino de los desechos conducidos o no por sistemas de alcantarillado.

ARTICULO 56.- Las autoridades, empresas o particulares no podrán suspender o disminuir la dotación de los servicios de agua potable y avenamiento de los edificios habitados sólo podrán reducirse en los términos del artículo 38 de la Ley Federal de Aguas.

ARTICULO 57.- Los usuarios que aprovechen en su servicio, aguas que requieran ser usadas posteriormente por los habitantes de alguna población, estarán obligados a devolverlas sin alteración nociva a la salud de dichos habitantes, de acuerdo con los reglamentos correspondientes.

ARTICULO 58.- En los ríos, lagos, lagunas o en cualquier otra fuente, cuyas aguas se utilicen para uso doméstico, para balnearios o para criaderos de fauna acuática, queda prohibido descargar aguas residuales que contengan contaminantes, en cantidades superiores a los máximos permisibles señalados en los reglamentos respectivos.

ARTICULO 59.- Sólo podrán ser utilizadas las aguas residuales para usos agrícolas, en los casos y bajo las condiciones que determinen los reglamentos de este Código y los de la Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental  
(...)

ARTICULO 62.- Las autoridades sanitarias, sin contrariar los principios del derecho internacional, podrán implantar medidas preventivas y de restricción de tránsito necesarias en el mar territorial, a fin de evitar o controlar la disminución de enfermedades

ARTICULO 63 Es atribución de la Secretaría de Salubridad y Asistencia en coordinación con la Secretaría de Marina, la adopción de medidas sanitarias, tendientes a prevenir y controlar la contaminación de las aguas de las zonas adyacentes al mar territorial, ajustándose, al realizar esta acción a las normas del derecho internacional.

ARTICULO 64.- Las medidas sanitarias de prevención y control de la contaminación del medio marino se aplicarán:

I.- En las playas del territorio nacional, en los casos en que la contaminación marina ponga en peligro la salud humana

II.-En las aguas marinas interiores y el mar territorial, en los casos en que la contaminación marina ponga en peligro la salud humana; y

III-En una zona adyacente al mar territorial, con las modalidades que establece el artículo anterior, cuando la contaminación ponga en peligro la salud humana o el equilibrio ecológico del medio marino en el territorio nacional.

ARTICULO 65.- Las autoridades sanitarias en coordinación con la Secretaría de Marina, podrán tomar las medidas necesarias e impedir a cualquier nave, la evacuación de sustancias o desperdicios que puedan contaminar las áreas mencionadas en el artículo anterior.  
(...)

La Ley Federal de Aguas (Diario Oficial 11 de enero de 1972) expresa en relación a este tema:

ART. 16.- Compete al Ejecutivo Federal:  
(...)

VII- Suspender todos aquellos aprovechamientos, obras y actividades que dañen los recursos hidráulicos nacionales, o afecten el equilibrio ecológico de una región.  
(...)

ART. 30.- La Secretaría (se refiere a la Secretaría de Recursos Hidráulicos) asignará el abastecimiento de agua necesario para el uso de las poblaciones, una vez que se hayan cumplido los requisitos exigidos por las disposiciones sanitarias y la Ley Federal para prevenir y controlar la Contaminación Ambiental y sus Reglamentos.  
(...)

ART 40.- En los casos de disminución, escasez o contaminación de las fuentes de abastecimiento y para proteger los servicios de agua potable, la Secretaría podrá restringir y aún suspender otras explotaciones y aprovechamientos.  
(...)

ART. 175.- La Secretaría sancionará conforme a lo previsto por esta Ley, las siguientes faltas:

I.- Arrojar sin permiso, en los cauces o vasos de propiedad nacional, aguas de desechos industriales;  
(...)

Una Ley que es decisiva en este campo es la Ley Federal de Protección al Ambiente publicada en el Diario Oficial el 11 de enero de 1982 y que entró en vigor el 11 de febrero de ese mismo año. Deroga a una Ley que 10 años antes se denominó Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental, que dió origen a los Reglamentos siguientes

FAC. DE INGENIERIA  
DOCUMENTACION

que seguirán aplicándose (1983) mientras no se expidan los relativos a la Ley actual:

Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Atmosférica Originada por la Emisión de Humos y Polvos (Diario Oficial 17 de septiembre de 1971).

Reglamento para la prevención y Control de la Contaminación de Aguas (Diario Oficial del 29 de marzo de 1973).

Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental Originada por la Emisión de Ruidos (Diario Oficial del 2 de enero de 1976).

Esta Ley es de tanta importancia dentro del campo ecológico y particularmente en los relativo a la protección de la contaminación de aguas, que se antoja incluirla en este Capítulo; sin embargo y considerando que ya es ampliamente conocida, solamente se transcribe parte de un comentario, que modificado en forma mínima, publicó la propia Secretaría de Salubridad y Asistencia<sup>(50)</sup>:

Dentro de las disposiciones generales de esta Ley, figura una terminología más amplia y actualizada; se precisa la competencia de la Secretaría de Salubridad y Asistencia, en cuanto a la aplicación de la Ley y la coordinación de otras dependencias federales con la propia Secretaría, de acuerdo con sus atribuciones, así como el auxilio, en caso necesario, de los Gobiernos de los Estados y de los Municipios, para el cumplimiento y aplicación de la propia Ley. En su articulado figura la integración de áreas o regiones ecológicas para la conservación de los ecosistemas en peligro de destruirse, la protección de la calidad del aire; y de los suelos, de la erosión, salinidad, desertificación y de la urbanización; se considera también evitar los efectos de las substancias químicas tóxicas, radiactivas y todas aquellas que pueden llegar a modificar el clima de algunas regiones y provocar la desaparición o reducción de especies, tanto de la flora como de la fauna, con los consiguientes daños al equilibrio ecológico.

Asimismo, consigna medidas de emergencia en situaciones peligrosas para los ecosistemas, la salud pública, la flora y la fauna. También establece restricciones en materia de importación, producción, tenencia y uso de substancias nocivas o peligrosas, así como la prohibición de fabricar,

usar o importar aquellas cuya tenencia, uso o disposición, causen contaminación grave o peligrosa al ambiente o a la salud pública. Cabe resaltar las medidas que establece la Ley para restringir o suspender la instalación o funcionamiento de industrias, comercios, servicios, desarrollos urbanos o cualquier otra actividad que pueda causar o incrementar la degradación ambiental o dañar los procesos ecológicos.

El propio ordenamiento incluye preceptos sobre la vigilancia de la calidad del agua para consumo humano, el control de aguas residuales, la protección del medio marino por la explotación y exploración de energéticos, las aguas interiores y marinas, y el vertimiento en el mar de hidrocarburos y otras sustancias nocivas.

Otro rubro importante que figura en dicho ordenamiento jurídico, es el control y la vigilancia de los desechos sólidos provenientes de las áreas urbanas, principalmente de la industria, que por su volumen creciente y por su contenido altamente contaminante en muchos casos, debe ser objeto de cuidadosa atención preventiva para evitar accidentes y daños irreversibles al ambiente.

Se destaca también el control de la contaminación en actividades industriales, comerciales, y de investigación que generan calor, radiaciones, ruido y vibraciones, que dañan a los ecosistemas y en forma directa a la salud humana y que a futuro tendrán mayor importancia por la creciente actividad tecnológica que produce este tipo de contaminación.

En cuanto a la contaminación de alimentos, se ha previsto en la Ley la importancia que tiene para la salud y la existencia humana, el cuidado en la vigilancia desde la producción, manejo y consumo, considerando el peligro que tiene el contacto de los alimentos con la fauna nociva, el uso de insecticidas y fertilizantes, los aditivos para su industrialización así como de otras sustancias y residuos químicos que se incorporan a los alimentos por falta de control y vigilancia, y que al consumirse, a veces dañan gravemente la salud humana. Por otra parte la proliferación de contaminantes provenientes del uso de aguas negras son causa de diversos padecimientos; las descargas residuales a los cuerpos de agua y en los mares han provocado la contaminación de los alimentos con residuos de metales pesados y sustancias tóxicas que son causa de enfermedad, deformación y muerte de los seres humanos.

También es importante mencionar dentro de la nueva Legislación, la vigilancia y control que deben ejercer las autoridades ambientales en la ejecución y operación de obras, tanto públicas como privadas para evitar que se deteriore el ambiente, a través del conocimiento previo de la manifestación del impacto ambiental y de las medidas preventivas y correctivas para minimizarlo; en concordancia con lo que establece la Ley de Obras Públicas y su Reglamento.

Asimismo, establece la protección del ambiente por efectos

de radiaciones ionizantes, cuya regulación era necesaria debido al incremento de mayores riesgos por las perspectivas del uso del radio, uranio y plutonio en actividades industriales y de servicio.

En cuanto a sanciones de carácter administrativo, se establecen multas que van de 5 a 10 000 días de salario mínimo general para el Distrito Federal, por violaciones a la propia Ley; se establece el arresto hasta por 36 horas por resistencia a su cumplimiento; así como clausuras de establecimientos contaminantes, el decomiso, la retención o destrucción de sustancias y productos contaminados.

Finalmente cabe señalar que la Ley es de aplicación federal, pero prevé acciones compartidas con las autoridades locales y la participación ciudadana, con fundamento en disposiciones jurídicas concurrentes, tanto federales como estatales y municipales, para coadyuvar con el Gobierno Federal al cumplimiento del propio ordenamiento.

En cuanto al Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas, no obstante que tendrá corta vida (porque pronto será sustituido) vale la pena mencionar que contiene aspectos innovadores como el que las descargas de aguas residuales, con excepción de las provenientes de usos puramente domésticos, deberán registrarse (Artículo 7º) y que los responsables de las descargas de aguas residuales que no sean arrojadas en el alcantarillado de las poblaciones, deberán ajustarlas a los contenidos máximos que se indican en la Tabla Nº 1 (Artículo Nº 13). La Tabla Nº 28 contiene esta información

TABLA Nº 28  
MAXIMOS TOLERABLES PARA DESCARGAS QUE NO VAN A REDES  
DE POBLACIONES

I	Sólidos sedimentables	1.0 ml/l
II	Grasas y aceites	70 mg/l
III	Materia flotante	Ninguna que pueda ser retenida por malla de 3 mm de claro libre cuadrado
IV	Temperatura	35º C
V	pH	4.5 a 10.0

También es interesante lo que se indica sobre los estudios de los cuerpos receptores a fin de clasificar las aguas en función de sus usos, conocer su capacidad de asimilación y de dilución, así como para señalar las condiciones particulares de las descargas de aguas residuales (Artículo 23). Con base en estos estudios se fijarán las condiciones particulares de las descargas de acuerdo con la clasificación del agua del cuerpo receptor, su volumen o gasto y las tolerancias fijadas en las tablas que se identifican en el Reglamento con los números 2 y 3 (Artículo 24).

### 7.3. Ejercicios

- 1) Seleccione un país e investigue y redacte un informe sobre su legislación en materia de contaminación de aguas
- 2) Comente el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de aguas. Enfatique sobre las Tablas 1 a 3.



## CAPITULO 8

## AUTODEPURACION DEL AGUA

La naturaleza provee de elementos para la autodepuración de todas las aguas que hayan sido contaminadas por la adición de desechos, ya sean debidos a escurrimientos del suelo, aguas negras o desperdicios industriales. La velocidad a la que se verifica este proceso depende del origen y la cantidad de materia contaminante, así como de las condiciones y características físicas, químicas y biológicas del agua misma.)

Frecuentemente se afirma que el agua se autopurifica al fluir durante cierta distancia o que la aeración natural que tiene lugar en las cascadas o caídas, oxidará o matará las bacterias; en realidad la distancia en sí no tiene relación directa con la autodepuración, está combinada con el tiempo de trayecto; tampoco la aeración por sí misma realiza la destrucción de las bacterias. Es cierto que el tiempo y la aeración son los factores más importantes, pero también lo son otros: las condiciones adecuadas de temperatura, la luz solar, la velocidad del flujo y características químicas y biológicas del cuerpo receptor.)

La sedimentación por reposo en un depósito durante

un periodo de casi un mes, puede lograr generalmente una purificación equivalente a la filtración; el flujo lento de una corriente en una gran distancia, puede llevar a los mismos resultados.

La contaminación del agua por las descargas de desechos o por otras sustancias contaminantes, pone en movimiento un ciclo bien definido, difícil de observar en el agua estancada y fácil de ver en una corriente. Comprende cuatro fases<sup>(17)</sup>.

#### 1. Zona de degradación

Esta zona se encuentra generalmente cerca de los puntos de descarga de alcantarillados, el límite de esta zona en cuanto a distancia, se puede definir por un contenido de OD de alrededor de 40 por ciento de saturación. El primer efecto que se observa es que el agua se enturbia dificultando el paso de la luz solar a las capas más profundas del agua, los peces y las algas verdes disminuyen y aumenta la cantidad de materia orgánica; se elimina en cierta forma la aeración o la cantidad de oxígeno que las plantas dan al agua por el fenómeno de fotosíntesis. Las formas superiores son sustituidas por formas inferiores más tolerantes; en esta fase se encuentran los hongos acuáticos típicamente blancos, verde olivo, gris pardo y rojizos; se encuentran además pequeños gusanos parecidos a las lombrices de tierra, protozoos ciliados, formas litorales de algas verdes y verde azules colgando de piedras humedecidas; se forman depósitos de lodos.

#### 2. Zona de descomposición activa

Se caracteriza por la ausencia de OD y por condiciones sépticas; la zona se distingue por su color gris negro, olores desagradables debidos al sulfuro de hidrógeno, depósitos de lodos negros y burbujas de gas. Se produce la descomposición orgánica activa con aumento de bióxido de carbono y amoníaco, se incrementa la flora bacteriana desplazando los anaerobios a los aerobios. Los protozoos disminuyen, los hongos desaparecen bajo verdaderas condiciones sépticas. Los organismos son filarios y desarrollan un tinte rosado, cremoso o gris. Se encuentran algas en muy pequeña extensión y larvas de los géneros heristolis y sichoda.

#### 3. Zona de recuperación

Tiene una actividad inversa a la zona de degradación desarrollándose en mayor extensión; se distingue una clarificación gradual del agua por un cambio de los depósitos fangosos a depósitos granulares, y por la ausencia de burbujas de gas. Aumenta la cantidad de OD a más del 40 por ciento; disminuye el contenido de bióxido de carbono y aumenta la cantidad de nitritos y nitratos. Reaparece la vida acuática

macroscópica; aparecen protozoos, rotíferos y crustáceos. Se encuentran pocos hongos y las algas resurgen; el recuento bacteriano disminuye a medida que baja el alimento del agua. Aparecen esponjas, briozoarios y organismos de fondo como mariscos, caracoles y larvas de insectos. Hay carpas, rémoras y otras formas más resistentes de peces.

#### 4. Zona de agua limpia

Sus características son casi similares a la de agua limpia natural por haber recuperado su aspecto atractivo. El OD está cercano al de saturación y se restauran las condiciones de la corriente natural caracterizada especialmente por la presencia de peces útiles para la pesca comercial. En esta zona hay bacterias aerobias junto con otros microorganismos que permiten la vida superior. Se vuelve a normalizar la vida vegetal y animal, aparecen organismos microscópicos.

El oxígeno disuelto en una corriente debe ser cuando menos de 5 mg/l para propiciar y conservar la vida piscícola, por lo cual es necesario precisar y cuantificar la carga orgánica máxima permitida en cualquier punto del curso de la corriente, considerada en función de la DBO; para ello es necesario aplicar las ecuaciones de autopurificación.

En general la autopurificación logra eliminar la materia orgánica dependiendo del grado de dilución, de la actividad de la reaeración, de la sedimentación y principalmente del tiempo disponible para que se verifiquen las reacciones químicas. Por desgracia los efectos de reposo y tiempo no son todo lo benéficos que se requieren con respecto a ciertas características del agua; por ejemplo: la contaminación bioquímica induce al desarrollo de algas y de otras formas de vida microscópicas que son las que comúnmente causan olores y colores.

El poder autopurificador que tienen las corrientes, muchas veces se aprovecha para dar solución a las descargas directas de algunas poblaciones, previendo el efecto que se provoca al verter en un río los desechos y los problemas que se causan; si no se pudiera, cabe la posibilidad de reducir la carga contaminante con una instalación de tratamiento, que lleva como consecuencia una mayor erogación económica que muchas veces las poblaciones no están en capacidad de cubrir. Es necesario que la persona encargada

de este tipo de estudio, sepa evaluar la capacidad purificadora del agua o de la corriente donde se va a verter un desecho, de manera que proyecte un sistema de tratamiento que tenga una eficiencia adecuada, que sea económico y que considere a la vez la capacidad autopurificadora del cuerpo receptor. Quizá proyectar por etapas de acuerdo al incremento de calidad y cantidad futuras para ser congruentes con la legislación. Si no se vé de esta manera, se corre el riesgo de caer en una solución teórica que puede agravar el problema de la contaminación.

### 8.1. Desoxigenación y reoxigenación

Una corriente contaminada está sujeta a la doble acción de desoxigenación y reoxigenación. Teóricamente se puede determinar la cantidad de oxígeno disuelto en un instante dado bajo la influencia de ambos fenómenos.

#### 8.1.1. Desoxigenación por carga bental

Se llama carga bental a la materia orgánica que se sedimenta en la corriente cuando ésta tiene una velocidad menor de 30 cm/s. La sedimentación provoca la formación de los llamados fangos, los cuales se acomodan por estratos cuando además de la lentitud del recorrido, existen factores favorables de temperatura y otros de tipo meteorológico.

En época de secas, cuando los ríos llevan poca agua y baja velocidad, si se descarga a ellos materia orgánica se producen asentamientos muy grandes, a tal grado que esa materia no se descompone por caerle encima otras capas, de manera que se impide su oxidación. Cuando aumenta el caudal y éste lleva oxígeno disuelto, existe la descomposición aeróbica hasta una profundidad aproximada de un centímetro, pero más abajo persiste la anaeróbica que es mucho más lenta aunque en cierta forma ayuda a mantener OD en la corriente por no consumirlo.

Con el aumento de la temperatura disminuye la densidad del agua y la viscosidad incrementándose la descomposición

126 Evaluación, efectos y solución de la contaminación de aguas

aeróbica así como el desprendimiento de gases y por tanto el levantamiento de partículas sedimentadas sin descomposición, que aunadas a las suspendidas, hace que aumente mucho más la DBO del agua; por eso es que llegada la época de temperaturas altas, se pueden tener problemas por el agotamiento de oxígeno disuelto.

Con las avenidas los ríos se limpian de sedimentos, los que son arrastrados a cuerpos receptores de mucho volumen como lagos u océanos, en que según el caso, no causan ningún problema o lo provocan de diferente manera.

Aunque la desoxigenación por carga bentálica puede ser calculada por medio de fórmulas específicas, las magnitudes de las constantes que deben aplicarse no son bien conocidas y por tanto no es común su utilización. A cambio y con buenos resultados se puede usar la siguiente relación aproximada para la determinación de la demanda máxima diaria de oxígeno por carga bentálica de un sedimento acumulado<sup>(24)</sup>

$$Y_m = 3.14 \times 10^{-2} Y_D C_T w \frac{5 + 160w}{1 + 160w} \sqrt{t_a} \quad (18)$$

$Y_m$  = demanda máxima diaria de oxígeno por carga bentálica en g/m<sup>2</sup>

$Y_D$  = DBO a 5 días y 20° C en g/Kg de materia volátil

$C_T$  = factor de temperatura

$w$  = razón de depósitos diarios de sólidos volátiles en Kg/m<sup>2</sup>

$t_a$  = tiempo en días durante los cuales la acumulación tiene lugar, hasta un máximo de 365

$$C_T = \frac{Y}{Y_D} = \frac{(1 - e^{-5k})}{(1 - e^{-5k_D})} \quad \text{que resulta de sustituir}$$

en la ecuación (13) del Capítulo 3  $t = t_D = 5$  días y  $T_D = 20^\circ C$

Si la carga es constante y hay recursos de oxígeno suficientes, la descomposición puede ser aeróbica.

## 8.1.2. Reoxigenación atmosférica.

Además del oxígeno producido por las plantas verdes gracias a la fotosíntesis, el OD en corrientes se debe a la atmósfera con las que estas aguas está en contacto. En cuanto a la oxigenación por fotosíntesis solo se considera en los casos siguientes:

- a) Aguas que no están muy degradadas
- b) Aguas suficientemente recuperadas para soportar la presencia de plantas verdes
- c) Sitios con muchas horas de soleamiento
- d) En las estaciones calientes del año

La rapidez con que el agua no saturada con oxígeno absorbe este gas de la atmósfera, es proporcional a su grado de déficit de saturación o sea:

$$\frac{dc}{dt} = K_g (C_s - C_t) \quad (19)$$

$\frac{dc}{dt}$  = cambio de concentración al tiempo t

$K_g$  = constante de solución o transferencia del gas en condiciones de exposición

$C_s$  = valor de saturación a una temperatura y presión atmosférica dadas

$C_t$  = concentración al tiempo t

Integrando esta ecuación entre los límites ( $C_0$  a  $t=0$ ) ( $C_t$  a  $t=t$ ) resulta:

$$C_t - C_0 = (C_s - C_0)(1 - e^{-K_g t}) \quad (20)$$

desarrollando y agrupando:

$$C_t - C_0 = C_s - C_s e^{-K_g t} - C_0 + C_0 e^{-K_g t}$$

$$(C_t - C_s) = (C_0 - C_s) e^{-K_g t}$$

cambiando signos:

$$(C_s - C_t) = (C_s - C_0) e^{-K_g t} \quad (21)$$

Si se opta por denominar

$$(C_b - C_o) = D_a$$

$$(C_b - C_t) = D$$

$$k_d = r$$

donde

$D_a$  = déficit inicial de OD

$D$  = déficit después del tiempo  $t$

$r$  = coeficiente o rapidez de reoxigenación del cuerpo de agua

por tanto la ecuación (21) se puede escribir:

$$D = D_a e^{-rt} \quad (22)$$

en la que la variación con respecto al tiempo será

$$\frac{dD}{dt} = \frac{d}{dt} (D_a e^{-rt})$$

$$\frac{dD}{dt} = -r D_a e^{-rt}$$

finalmente

$$\frac{dD}{dt} = -rD \quad (23)$$

El valor de  $r$  no solo es función de la temperatura del agua, sino también del área de contacto aire-agua en relación al volumen. Conocida  $r$ , la variación con la temperatura puede calcularse de acuerdo con la ecuación de Van't Hoff Arrhenius

$$r = r_o e^{C_r(T - T_o)} \quad (24)$$

$C_r$  = característica de la temperatura

$T$  = temperatura del agua en grados centígrados

$r_o$  y  $T_o$  = valores de referencia

para las temperaturas normales de trabajo

$$C_r = 0.018 \text{ a } 0.024$$

Para determinar el valor de  $r$  se han propuesto fórmulas que dan valores aproximados; entre ellas

a) Fórmula de Churchill-Elmore-Buckinham:

$$r = 2.18 \frac{v^{0.969}}{H^{1.673}} \quad (25)$$

$r$  = coeficiente de reoxigenación por día  
 $v$  = velocidad media del agua (m/s)  
 $H$  = profundidad media (m)

b) Fórmula de O'Connor-Dobbins, derivada de la ecuación de Manning:

$$r = 127 \frac{(D_L U)^{1/2}}{H^{3/2}} \quad (26)$$

$H$  = profundidad media (m)  
 $U$  = velocidad media del agua (m/s)  
 $D_L$  = difusión del  $O_2$  en el agua para la temperatura considerada ( $m^2/día$ )

a temperatura de  $20^\circ C$

$$D_L = 2.03 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/s$$

por tanto

$$D_L = 1.78 \text{ cm}^2/día$$

$$D_L = 1.78 \times 10^{-4} \text{ m}^2/día$$

para otras temperaturas

$$D_L = 1.78 \times 1.04^{(T-20)} \text{ en cm}^2/día$$

## 8.2. Balance de oxígeno disuelto

Se conoce como curva de oxígeno disuelto al perfil o trazo que resulta al considerar en una corriente, el déficit de oxígeno con respecto al tiempo o sea la interrelación de la desoxigenación de las aguas contaminadas y su



reoxigenación por medio del aire en función del tiempo recorrido.

La Figura Nº 21 muestra la curva resultante de las dos acciones.

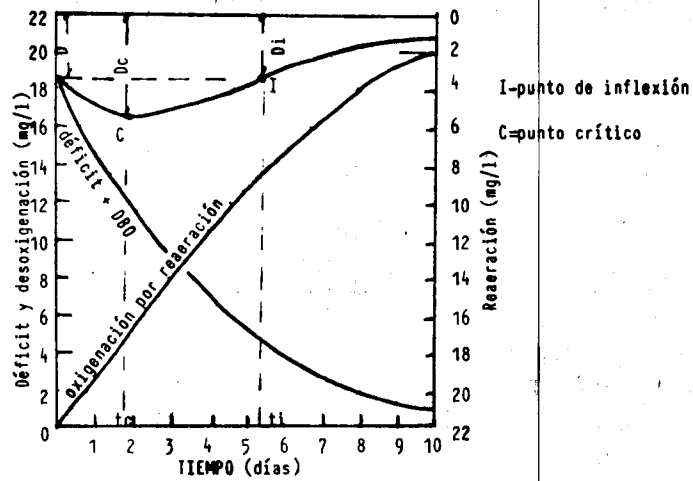


FIGURA Nº 21. Balance del oxígeno disuelto.

Partiendo de que la rapidez instantánea con que aumenta el déficit debido a la DBO es proporcional a la concentración de materia orgánica

$$\frac{dD}{dt} = k(L - y) \quad (27)$$

en la que

$$y = L(1 - e^{-kt}) \quad (3)$$

y que la rapidez con que disminuye el déficit con respecto al tiempo es proporcional al propio déficit según se consignó en (23)

$$\frac{dD}{dt} = -rD$$

estas dos últimas acciones expresadas como déficit, dan si se combinan:

$$\frac{dD}{dt} = k(L - y) - rD$$

pero de (3)

$$y = L - Le^{-kt}$$

luego

$$\begin{aligned} \frac{dD}{dt} &= kL - kL + kLe^{-kt} - rD \\ &= kLe^{-kt} - rD \end{aligned}$$

o sea

$$\frac{dD}{dt} + rD = kLe^{-kt} \quad (28)$$

Esta ecuación diferencial en la cual  $rD$  puede ser constante o puede ser función de la misma  $D$ , es de la forma

$$\frac{dy}{dx} + Py = Q$$

en la cual  $P$  y  $Q$  pueden ser constantes o funciones de  $x$

Integrando entre los límites  $D_a$  en el punto de descarga o de referencia (inicial)

$$t=0, (L - y) = L_a$$

y  $D$  a cualquier punto distante un tiempo  $t$ , resulta:

$$D = \frac{k L_a}{r - k} (e^{-kt} - e^{-rt}) + D_a e^{-rt} \quad (29)$$

$D$  = déficit de oxígeno después de un período de  $t$  días; mg/l

$D_a$  = déficit inicial ( $t=0$ ), refiriéndose al límite de saturación lo cual depende de la temperatura; mg/l

$L_a$  = DBO<sub>u</sub> de la corriente; mg/l

$r$  = constante de reoxigenación

$k$  = constante de desoxigenación

La ecuación (29) es la ecuación de Streeter y Phelps,

también conocida bajo la expresión:

$$D_t = \frac{k_1 L_a}{k_2 - k_1} \left[ 10^{-k_1 t} - 10^{-k_2 t} \right] + D_a 10^{-k_2 t} \quad (30)$$

La relación de  $r$  a  $k$  es una constante de autopurificación de la corriente

$$\frac{r}{k} = f \quad r = fk$$

sustituyendo este valor en la ecuación (29) y simplificando

$$D = \frac{L_a}{f - 1} e^{-kt} \left[ 1 - e^{-(f-1)kt} \left[ 1 - (f-1) \frac{D_a}{L_a} \right] \right] \quad (31)$$

Cuando no se conoce bien alguna de las constantes  $r$  o  $k$  es ventajoso emplear esta ecuación por los valores de  $f$  que las relaciona y que ya se tienen tabulados; la Tabla N° 29 los muestra.

TABLA N° 29  
VALORES DE  $f$  EN LAS AGUAS RECEPTORAS

TIPO	$f$ A 20° C	
Lagunas pequeñas y estanques	0.5	a 1.0
Corrientes lentas y grandes lagos	1.0	a 1.5
Grandes corrientes de baja velocidad	1.5	a 2.0
Grandes corrientes a velocidad moderada	2.0	a 3.0
Corrientes de gran velocidad	3.0	a 5.0
Rápidas y caídas	más de	5.0

Fuente: Fair (1971)

La variación con la temperatura se tiene por

$$f = f_0 e^{(C_r - C_k)(T - T_0)}$$

en forma aproximada y para aguas de temperatura normal:

$$C_r = 0.018 \quad C_k = 0.046$$

La ecuación (30) o la (31) representa la curva del déficit de oxígeno disuelto, de la que, desde el punto de vista de la ingeniería, importa conocer el punto crítico correspondiente al déficit máximo de coordenadas ( $t_c, D_c$ ) y el punto de inflexión, que señala dónde las aguas recuperan el oxígeno con mayor rapidez, de coordenadas ( $t_i, D_i$ ).

Matemáticamente las coordenadas para el punto crítico se definen por la condición:

$$\frac{dD}{dt} = 0 \quad \text{y} \quad \frac{d^2D}{dt^2} < 0$$

y para el punto de inflexión:

$$\frac{d^2D}{dt^2} = 0$$

Efectuando las derivaciones y transformaciones respectivas, resulta de la ecuación (31)

Para el punto crítico:

$$t_c = \frac{1}{k(f-1)} \ln \left[ f \left[ 1 - (f-1) \frac{D_a}{L_a} \right] \right] \quad (32)$$

$$D_c = L_a \frac{e^{-kt_c}}{f} \quad (33)$$

Para el punto de inflexión:

$$t_i = \frac{1}{k(f-1)} \ln \left[ f^2 \left[ 1 - (f-1) \frac{D_a}{L_a} \right] \right] \quad (34)$$

$$D_i = L_a \frac{e^{-kt_i}}{f^2} (f+1) \quad (35)$$

Las coordenadas de estos puntos se relacionan como sigue:

$$t_i - t_c = \frac{(\ln f)}{k(f-1)} \quad (36)$$

$$\frac{D_i}{D_c} = e^{-k(t_i - t_c)} \frac{f+1}{f} \quad (37)$$

Si parte de la carga contaminante se sedimenta en la vecindad inmediata del punto de descarga, la demanda de oxígeno bental puede calcularse por la ecuación (18) y suponer que es un déficit adicional en ese punto. Si por el contrario, la carga contaminante se dispersa en un gran trecho del río, se convierte en un incremento de la rapidez de desoxigenación. Denominándola como  $d$  en la expresión (28) se tendrá:

$$\frac{dD}{dt} = kLa e^{-(k+d)t} - rD$$

y por tanto

$$D = \frac{kLa}{r - (k+d)} \left[ e^{-(k+d)t} - e^{-rt} \right] + Da e^{-rt} \quad (38)$$

Esta fórmula es la misma (29), solamente que se considera la rapidez de desoxigenación por carga bental  $d$ .

$d$  es una constante de corrección para  $t$  en días, que refleja la composición de las aguas negras y agua receptora así como la quietud del curso bajo consideración. Representa el aumento de DBO que es removido por sedimentación. Cuando hay mucha turbulencia el valor de  $d$  puede ser negativo, originándose en lugar de sedimentación un arrastre. Las tres constantes  $r$ ,  $k$  y  $d$ , son funciones de la temperatura y tienen unidades de  $\text{d}^{-1}$ . En la fórmula (38) serían:

$$k = K_1 ; \quad r = K_2 ; \quad d = K_3$$

$$D_t = \frac{k_1 La}{k_2 - k_1 - k_3} \left[ 10^{-(k_1 + k_3)t} - 10^{-k_2 t} \right] + Da 10^{-k_2 t} \quad (39)$$

$L_a$  y  $L_b$  = valor último de la DBO en la primera etapa, sección inicial y final del tramo (mg/l o kg/día)

$\bar{L}$  =  $0.5(L_a + L_b)$ ; promedio del valor último de la DBO (mg/l o kg/día)

$\Delta D$  =  $(D_b - D_a)$ ; diferencia de oxígeno disuelto en las secciones inicial y final del tramo considerado (mg/l o kg/día)

$\Delta t$  = tiempo medio empleado por la masa de agua en pasar de la sección inicial a la final (día)

$\bar{D}$  =  $0.5(D_a + D_b)$ ; promedio del déficit de oxígeno disuelto en las secciones inicial y final del tramo (mg/l o kg/día)

Para conocer los valores de  $L_a$  y  $L_b$  a partir de datos directos de la DBO, puede hacerse uso de la Tabla Nº 16

### 8.3. Carga permisible en corrientes receptoras

Cuando se habla de carga contaminante, se está haciendo referencia a la cantidad de materia orgánica que se aporta a un cuerpo receptor. Es común mencionarla como la aportación de DBO, que en función de un caudal, la medida usual de mg/l se convierta a kg/día para tener idea de una magnitud global. Todavía y en este sentido, es mejor usar un término más comparativo que es la **población equivalente** y que corresponde a un determinado número de personas después de considerar la carga total en relación a la que aporta una persona al día en promedio.

Algunos autores<sup>(39)</sup> recomiendan 75 g/día/persona de  $L$  (DBO<sub>u</sub>), mientras otros<sup>(33)</sup>, esa misma cantidad pero como DBO<sub>5</sub>. Para las condiciones mexicanas se puede tomar un valor de 60 g/día/persona de DBO<sub>5</sub>.

Con esta unidad es fácil transformar la carga contaminante en kg/día de un desecho industrial, a un cierto número de personas que dan una mejor idea del grado de contaminación.

$k_3$  es usualmente nulo y cuando tiene valor, se considera incluido en el de  $k_1$ ; así la ecuación (39) queda reducida nuevamente a la misma ecuación (30) analizada con anterioridad.

Según experiencias en los Estados Unidos de Norteamérica, la variación de las constantes para la mayoría de los ríos que no reciben residuos tóxicos, fluctúan entre los valores siguientes<sup>(32)</sup>

$$k_1 = 0.06 \text{ a } 0.36 \text{ por día}$$

$$k_2 = 0.06 \text{ a } 0.96 \text{ por día}$$

$$k_3 = 0.36 \text{ a } -0.36 \text{ por día}$$

### 8.3.1. Evaluación de las constantes $k_1$ , $k_2$ , $k_3$ .

Para evaluar las constantes de la curva de autopurificación, se elige un tramo de la corriente con objeto de tomar muestras durante un período determinado y en función del caudal, conocer el valor de la DBO y OD al comienzo y al final del tramo seleccionado. Se logra mayor precisión sincronizando el tiempo de la toma de muestras en estaciones sucesivas, de tal modo que sea aproximadamente la misma masa de agua la que se considere, consiguiéndose de esta manera una serie homogénea de datos para condiciones medias del curso de donde se obtendrán las constantes.

Cuando no sea posible tomar muestras sincronizadas, las constantes pueden determinarse sobre la base de los valores medios de la DBO y OD para un período determinado, siempre y cuando la cantidad y composición de la contaminación permanezcan razonablemente uniformes

Según Thomas<sup>(34)</sup>, las siguientes fórmulas derivadas de las consideraciones precedentes pueden emplearse para conocer  $k_1$ ,  $k_2$  y  $k_3$  para cada serie o promedio de muestras:

$$k_1 + k_3 = \frac{1}{\Delta t} \log \frac{L_a}{L_b} \quad (40)$$

$$k_2 = k_1 \frac{\bar{L}}{\bar{D}} - \frac{\Delta D}{2.3 \Delta t \bar{D}} \quad (41)$$

La carga contaminante que puede ser soportada por una corriente receptora depende principalmente de

- a) Constante de desoxigenación ( $k$ ) cuyo valor varía mucho y solo para grandes corrientes de velocidad normal, parece estar bien fundamentado que  $k = 0.23$  por día ( $k' = 0.1$  día<sup>-1</sup>)
- b) Constante de autopurificación ( $f$ ) que para una temperatura de 20° C tiene los valores que se indican en la Tabla Nº 29
- c) Déficit crítico ( $D_c$ ) que depende de los valores que se fijan como pudiera ser el que permita soportar vida piscícola.

Para valores de  $k$  y  $f$  el déficit  $D_c$  establece dos límites para la carga máxima que puede arrojarse al agua receptora:

1) Un límite superior asociado con un déficit inicial nulo ( $D_a=0$ ) que equivale a tener el OD a saturación en el punto de vertido

2) Un límite inferior asociado con una deficiencia inicial igual a la crítica ( $D_a=D_c$ ) o sea que se parte del punto de vertido, con un contenido de OD igual al crítico.

1) Bajo la primera condición el límite superior de la carga máxima permitida, representa el caso más favorable; el déficit inicial debe ser igual a cero para que las aguas receptoras permitan la máxima carga. Haciendo  $D_a=0$  en la ecuación (32), se tiene el tiempo en que se establece el déficit crítico para el límite superior de la carga máxima permitida ( $t_c$ )

$$t_c = \frac{1}{k(f-1)} \ln f \quad (42)$$

Por las ecuaciones (33) y (42) se consigue calcular el valor último de la DBO en la primera etapa ( $L_a$ ) para estas condiciones

$$\frac{L_a}{D_c} = f e^{k t_c} \quad (43)$$



138 Evaluación, efectos y solución de la contaminación de aguas

Por las ecuaciones (36) y (42) se puede establecer el tiempo para que se tenga la máxima recuperación de oxígeno

$$t'_1 = 2 t_c \quad (44)$$

Considerando las ecuaciones (37), (43) y (44) se calcula  $D'_1$

$$\frac{D'_1}{D_c} = \frac{f + 1}{f} e^{-kt'_c} \quad (45)$$

$$\frac{D'_1}{D_c} (f + 1) = \frac{D_c}{L'_a} \quad (46)$$

b) Bajo la segunda condición el límite inferior de la carga máxima permitida representa el caso más desfavorable.  $D_a$  debe ser igual a  $D_c$ ; por lo tanto

$$t''_c = 0 \quad (47)$$

De las ecuaciones (33) y (47)

$$\frac{L''_a}{D_c} = f \quad (48)$$

De las ecuaciones (36), (47) y (42)

$$t''_1 = \frac{1}{k(f - 1)} \ln f = t'_c \quad (49)$$

De las ecuaciones (37), (47) y (49)

$$\frac{D''_1}{D_c} = \frac{f + 1}{f} e^{-kt'_c} \quad (50)$$

De las ecuaciones (45) y (50)

$$\frac{D''_1}{D_c} = \frac{D'_1}{D_c} \quad D''_1 = D'_1 \quad (51)$$

La relación del límite superior al límite inferior de la carga máxima es por lo tanto

$$\frac{L'_a}{L''_a} = e^{-kt'_c} \quad (52)$$

8.4. Balance del CD en lagos

Cuando se aplica la teoría del balance de oxígeno disuelto a un lago, la solución se complica ya que debe considerarse no una sola dirección sino dos y a veces tres si se hace intervenir la profundidad. A este respecto el Dr Banks (UNAM)<sup>(35)</sup> ha desarrollado un sistema a base de celdillas de mezclado del que se expone en este inciso un resumen.

Considerando un balance de masas en un volumen elemental y según las limitaciones de una difusión espacial que se presentan en un río, se llega a las ecuaciones siguientes

$$L = L_0 e^{-k_1 \frac{x}{u}} \quad (53)$$

$$D = \frac{k_1 L_0}{k_2 - k_1} \left[ e^{-k_1 \frac{x}{u}} - e^{-k_2 \frac{x}{u}} \right] + D_0 e^{-k_2 \frac{x}{u}} \quad (54)$$

La ecuación (53) representa la variación de la DBO<sub>u</sub> (L) en función de las características del río (k), la distancia recorrida (x) y la velocidad de la corriente (u)

La ecuación (54) es la misma (30) en la que se ha sustituido el tiempo en función de la distancia y la velocidad

$$t = \frac{x}{u}$$

$L_0$  y  $D_0$  son los contenidos iniciales

Si la difusión sucede en dos dimensiones, se puede analizar el problema descomponiendo el área en celdas de mezclado y aún considerar volúmenes si se les da una profundidad como ocurre cuando un río descarga a un gran lago. La Figura Nº 22 muestra este caso con el detalle de una celda de mezclado.

Un balance de masas aunado a un estado permanente ( $d/dt=0$ ) da como resultado

$$L_{j,k} = \frac{Q_{j,k-1} L_{j,k-1} + P_{j-1,k} L_{j-1,k} + L^* V}{Q_{j,k} + P_{j,k} + k_1 V} \quad (55)$$

$$C_{j,k} = \frac{Q_{j,k-1} C_{j,k-1} + P_{j-1,k} C_{j-1,k}}{Q_{j,k} + P_{j,k} + k_2 V} + \frac{(k^* - k_1 L_{j,k}) V}{Q_{j,k} + P_{j,k} + k_2 V} \quad (56)$$

En la ecuación (55)

L es DBOu

L\* representa la generación (+) o remoción (-) de la DBOu

Q y P descargas en el sentido X y en el Y respectivamente

V es el volumen de la celda (X<sub>0</sub>, Y<sub>0</sub>, h) donde X<sub>0</sub>, Y<sub>0</sub> y h, son respectivamente distancias horizontales según los ejes coordenados y la profundidad de la celda

k<sub>1</sub> razón de desoxigenación

En la ecuación (56) además

C concentración de oxígeno disuelto

k<sub>2</sub> razón de desoxigenación

k\* suma de k<sub>f</sub>, k<sub>r</sub>, k<sub>b</sub> que a su vez representan:

k<sub>f</sub> oxigenación por fotosíntesis

k<sub>r</sub> consumo por respiración de las plantas

k<sub>b</sub> consumo por carga bental

Particularizando las ecuaciones (55) y (56) al caso de un canal o río:

$$Q_{j,k} = Q_0 = \text{constante}$$

$$P_{j,k} = 0$$

$$L^* \text{ y } k^* = 0$$

Se tiene

$$L_k = \frac{L_{k-1}}{1 + (k_1 x_0/u)} \quad (57)$$

$$C_k = \frac{C_{k-1} + (k_2 C_s - k_1 L_k) (x_0/u)}{1 + (k_2 x_0/u)} \quad (58)$$

$x_0$  = distancia longitudinal de la celda

$u$  = velocidad de recorrido

$C_s$  = Concentración de saturación del OD

Aplicando este modelo se llega por supuesto a los mismos resultados que con las ecuaciones (53) y (54).

Para el caso de un fluido que contiene concentraciones iniciales  $L_0$  y  $C_0$  y que fluye hacia una región plana infinita como sería el flujo de un río de baja velocidad que llega a un lago, el estudio de referencia<sup>(35)</sup> lo analiza para emplear las ecuaciones de las celdillas de mezclado llegando a definir las dos ecuaciones siguientes, si

$$x_0 = y_0$$

$$h = \text{Cte}$$

$$Q_{j,k} = \frac{Q_0}{\pi} \arctan \frac{k}{k^2 + j^2 - j} \quad (59)$$

$$P_{j,k} = \frac{Q_0}{\pi} \arctan \frac{j}{j^2 + k^2 - k} \quad (60)$$

Los valores obtenidos se sustituyen en las ecuaciones (55) y (56) para determinar  $L_{j,k}$  y  $C_{j,k}$ .

En las ecuaciones (59) y (60) se van tomando para  $j$  y  $k$  los valores de 1,2,3,...n considerados.

También se puede resolver este tipo de problema en base a un balance de masa sobre un volumen elemental cilíndrico del que resultan las ecuaciones (61) y (62).

$$L = L_0 e^{-ar^2} \quad (61)$$

$$D = \frac{k_1 L_0}{k_2 - k_1} \left[ e^{-ar^2} - e^{-br^2} + D_0 e^{-br^2} \right] \quad (62)$$

$$a = \pi k_1 \frac{h}{2} Q_0$$

$$b = \pi k_2 \frac{h}{2} Q_0$$

$D$  = déficit de OD en cualquier punto ( $C_s - C$ )

$D_0$  = déficit inicial ( $C_s - C_0$ )

$r$  = distancia desde el origen

La ecuación (62) es la forma cilíndrica de Streeter y Phelps. Esta solución da la variación crítica sobre una franja definida por el eje de simetría en el medio de descarga.

El modelo de celdillas puede hacerse extensivo a un caso como el de un río que entra a un lago de ancho definido o de fronteras limitadas de antemano. Se procede a formar una red de flujo con líneas de corriente y equipotenciales.

Si  $L^* = 0$  y  $k^* = k_2 C_s$ , las ecuaciones (55) y (56) quedan

$$L_{j,k} = \frac{L_{j,k-1}}{1 + (k_1 V_{j,k} / Q_j)} \quad (63)$$

$$C_{j,k} = \frac{C_{j,k-1} + (k_2 C_s - k_1 L_{j,k}) (V_{j,k} / Q_j)}{1 + (k_2 V_{j,k} / Q_j)} \quad (64)$$

$V_{j,k}$  = volumen de la celdilla de mezclado

$Q_j$  =  $Q_0 / n$

$Q_0$  = caudal de entrada

$n$  = número de canales en la red de flujo

Aunque se denominan celdillas, tómese en cuenta que las dimensiones pueden ser de cientos o miles de metros.

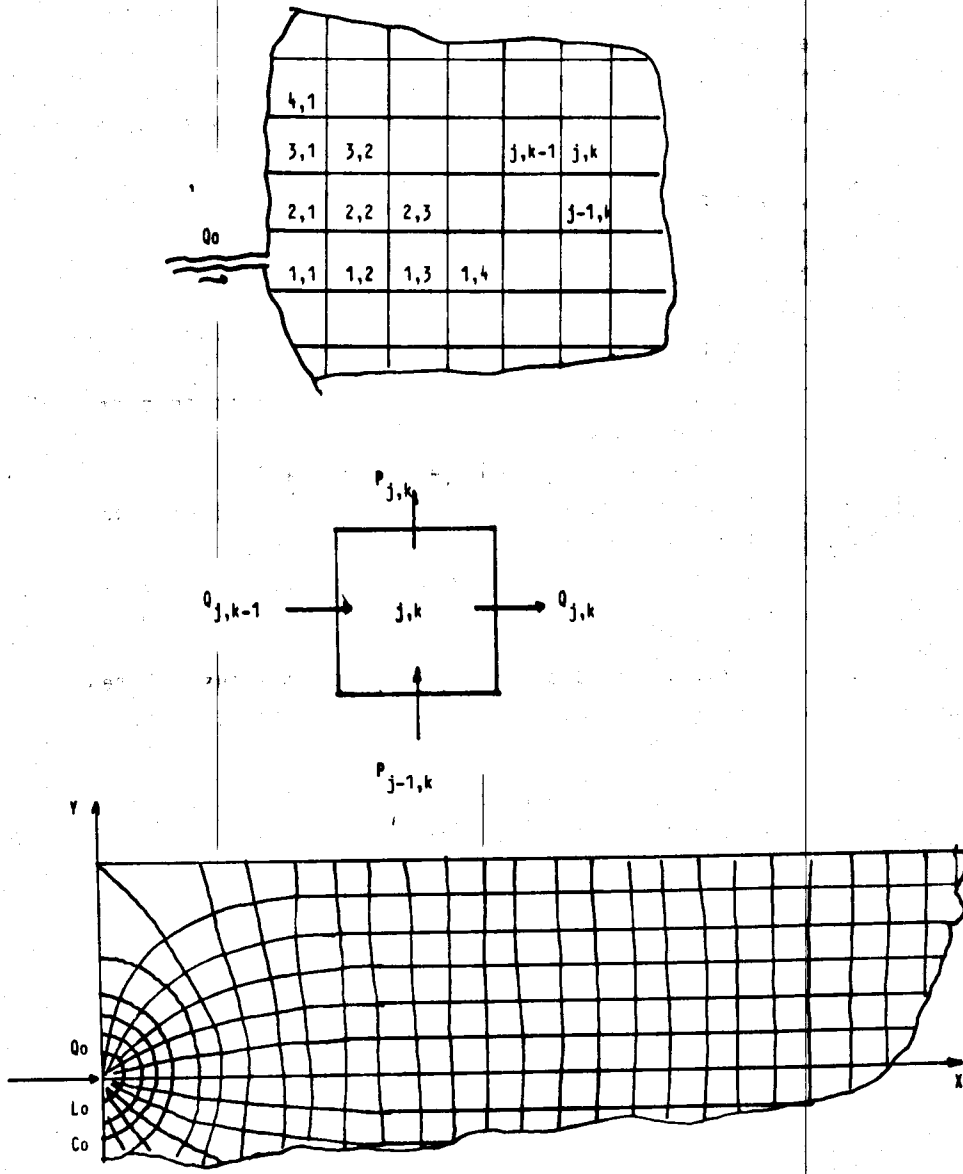


FIGURA Nº 22. Modelo de celdillas de mezclado en lagos.

8.5. Ejercicios

- 1) Sea una corriente casi a nivel del mar cuyo gasto es de  $32.6 \text{ m}^3/\text{s}$ . Aunque no tiene una sección constante, su fondo varía de  $0.60 \text{ m}$  a  $5.0 \text{ m}$  con un valor medio de  $1.20 \text{ m}$ . Otros datos son los siguientes:

$$v = 0.20 \text{ m/s}$$

$$T = 25^\circ \text{ C}$$

$$D_a = 1.0 \text{ mg/l}$$

$$L_a = 12.15 \text{ mg/l}$$

$$k_1 = 0.144 \text{ día}^{-1} \text{ (a } 20^\circ \text{ C)}$$

Calcúlese la variación del déficit de oxígeno para un tramo de  $35 \text{ Km}$ :

- obteniendo  $k_2$  según el valor de  $f$
- obteniendo  $k_2$  por Churchill-Elmore-Buckingham
- obteniendo  $k_2$  por O'Connor-Dobbins

Expresé sus comentarios sobre los resultados obtenidos.

- 2) De un río ubicado a  $300 \text{ msnm}$  se conocen sus valores medios respecto al tramo de  $6.2 \text{ Km}$  entre las estaciones A y B:

$$Q = 1.6 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$v = 0.55 \text{ m/s}$$

$$h = 0.30 \text{ m}$$

$$O_{Da} = 5.8 \text{ mg/l}$$

$$O_{Db} = 3.2 \text{ mg/l}$$

$$T_a = 17^\circ \text{ C}$$

$$T_b = 16^\circ \text{ C}$$

$$L_a = 25.3 \text{ mg/l}$$

$$L_b = 10.8 \text{ mg/l}$$

- obtenga y grafique la curva del déficit de oxígeno de una a otra estación
- calcule el valor y ubicación de los puntos crítico y de inflexión

- c) calcule la carga máxima permitida en la estación A para los límites superior e inferior del déficit crítico
- d) Trace las curvas del déficit según los valores obtenidos en c), empleando la ecuación de Streeter y Phelps.



## CAPITULO 9

### PREVENCION DE LA CONTAMINACION

#### 9.1. Justificación y objetivos de los tratamientos

El sistema más cómodo que se seguía para deshacerse de los desperdicios y residuos líquidos de una población, era verterlos directamente hacia una corriente, donde el proceso natural de autodepuración de las aguas, debido al movimiento que tienen y al oxígeno que adquieren, oxidan la materia orgánica contenida en la corriente hasta mineralizarla. Algunos años atrás, los ríos guardaban la proporción adecuada para que por dilución sucediera esto; como ahora se ha llegado a romper ese equilibrio, se trata de restablecerlo y resguardarlo mediante el tratamiento previo, evitando a la vez daños a la salud, sobre todo cuando se utilizan las corrientes como fuentes de abastecimiento en poblados aguas abajo. Tómese en cuenta lo difícil que es ya contar con agua de buena calidad o con la adecuada a la mayoría de las necesidades; por tanto es necesario reusar el recurso original varias veces para lograr una secuencia lo más larga posible.

Las aguas negras que se originan del uso potable se constituyen en el primer eslabón de esa serie de reusos, su empleo va desde el agrícola como aspecto general, hasta el industrial con más o menos refinamientos posteriores. no queda descartada la posibilidad de su integración al abastecimiento público; pero es una actividad que por economía, seguridad y reacción psicológica, se ha postergado (afortunadamente) para condiciones críticas que tal vez no lleguen a suceder.

Aunado a estos factores, existen los de tipo legal que dan como resultado la instalación y funcionamiento de plantas de tratamiento que cumplen con los aspectos de equidad, seguridad y estética que muchas veces sólo se ponderan bajo análisis más cuidadosos.

El estudio que se elabore para tratar las aguas negras de una población, tendrá como objetivos los siguientes:

- ( a) Evitar que las descargas de aguas negras se conviertan en un riesgo para la salud humana o deterioren algún medio en especial.
- b) Obtener mejor provecho del nuevo recurso hidráulico disponible.
- c) Definir el tratamiento más adecuado según la calidad del agua y uso del efluente.
- d) Plantear los lineamientos a seguir para la operación y conservación del sistema de tratamiento y empleo de su producto.

#### 9.1.1. Planeación.

El caso más urgente es el de satisfacer la necesidad de tratamiento de las aguas negras en poblaciones que ya cuentan con abastecimiento de agua potable y red de alcantarillado, aunque también el de poblaciones cuyo sistema de recolección de aguas servidas esté próximo a construir.

A fin de iniciar el estudio será necesario contar con:

- a) Plano topográfico de la región escala 1:50 000 en el que se aprecie la población objeto del estudio; sitio de vertido actual o de proyecto de los desechos líquidos; vías de comunicación; y líneas de transmisión eléctricas de importancia. De ser posible, también localizar en el plano: fuente de abastecimiento; líneas de conducción; y ubicación de la planta potabilizadora o sitio de desinfección del agua.
- b) Planos del proyecto de la red de alcantarillado de aguas negras construido o por construir.
- c) Plano de la población y sus alrededores escala 1:10 000, en el que se indique el trazo actual o de proyecto de la red de alcantarillado sanitario.
- d) Si la población tiene red de alcantarillado, descripción detallada respecto a:
  - 1) Sitio de vertido final.
  - 2) Uso actual de las aguas servidas.
  - 3) Problemas detectados en el funcionamiento de la red.
  - 4) Problemas causados por la descarga en sí y sobre su área de influencia.
  - 5) Recomendaciones e ideas sobre el funcionamiento deseable del proyecto con un tratamiento.
  - 6) Definición de restricciones a considerar.
  - 7) Usos previstos del agua tratada y los sitios principales de consumo.

#### 9.1.2. Actividades.

Para conseguir un diseño que cumpla con las condiciones establecidas y su funcionamiento sea eficiente y económico, se sugiere seguir las actividades que a continuación se citan:

- 1) Análisis de la información disponible.

Todos los planos y estudios que se consigan en relación al proyecto, serán analizados a fin de elaborar el diseño hasta el nivel establecido.

Será formulada una lista de necesidades que servirá para definir el tipo y cantidad de trabajo y con ello elaborar el presupuesto al detalle requerido por el estudio.

En esta fase del trabajo, se definirá a nivel de anteproyecto, la ubicación del tratamiento y sus obras complementarias según los alcances preestablecidos.

2) Estudios de campo a través de visitas directas a la población.

Conociendo el sitio y sus alrededores mediante la información proporcionada de antemano y habiendo definido en términos generales el sistema de tratamiento y uso de sus aguas, se hará una visita a la población para verificar o definir:

- a) Veracidad actual de la información.
- b) Verificación de la disponibilidad de áreas previstas en el anteproyecto.
- c) Facilidades de ejecución de las actividades faltantes.
- d) Previsión de las condiciones generales de trabajo.
- e) Posibilidad de empleo de material, equipo y personal regional.
- f) Ubicación probable de los locales para centro de operaciones.
- g) Señalar lineamientos generales para actividades faltantes.

Posteriormente las visitas serán periódicas para: controlar las actividades en proceso de realización; resolver problemas no previstos en gabinete; verificar avances y calidad de trabajo; y obtener información complementaria.

3) Topografía.

Se ha previsto que dentro del material disponible se incluya el proyecto del alcantarillado construido o por construir; de esa manera se contará con los datos topográficos de una gran parte del área. Sin embargo existirán zonas consideradas en el proyecto y que no cuenten con él; por lo tanto se estima necesario realizar un levantamiento topográfico que incluya:

- a) Verificación de la topografía disponible en forma de muestreo.
- b) Levantamiento de áreas ocupadas por el proyecto.
- c) Detalle de sitios clave.
- d) Instalación de bancos de nivel y mojoneras de control.

4) Levantamiento urbano complementario.

Independientemente del levantamiento topográfico, se considera que la planimetría urbana es indispensable y de tal importancia que se consigna como actividad independiente. De este concepto se pide:

- a) Verificación del trazo de calles principales, avenidas, carreteras y otras vías de comunicación.
- b) Ubicación de ductos, monumentos u otros obstáculos de importancia.
- c) Delimitación de superficies ocupadas por el proyecto.
- d) Instalación de mojoneras de control.

5) Modificaciones y proyecto de modificación a la red de drenaje.

Bajo las observaciones reales y de acuerdo al anteproyecto, resultarán modificaciones al drenaje actual y nuevos diseños previstos en los renglones

siguientes:

- a) Cambios de pendiente.
- b) Construcción de interceptores.
- c) Ampliación de líneas.
- d) Instalación de plantas de bombeo.
- e) Construcción de sifones u obras especiales.
- f) Corrección del emisor.

6) Muestreos y análisis de las aguas negras.

El diseño del tratamiento de las aguas negras se basa en varios aspectos entre los que se hallan primordialmente: características fisicoquímicas de las aguas; uso del efluente; recursos disponibles. Para el primero de ellos se propone realizarlo bajo los pasos siguientes:

- a) Localización de los sitios de muestreo.
- b) Calendario de muestreos.
- c) Parámetros a definir en campo y en laboratorio.
- d) Equipo a emplear.
- e) Análisis de los resultados obtenidos.

7) Anteproyecto de la planta de aguas negras.

Se menciona esta actividad a nivel de anteproyecto, porque los documentos que se generan, no definen detalles de instalaciones, operación u otros aspectos que corresponden al proyecto ejecutivo.

Plantear este diseño a nivel de anteproyecto, incluye el conocer las características de las aguas y realizar pruebas que definirán el diseño final. De esta actividad se llegaría a obtener:

- a) Estudio de las alternativas de tratamiento.
- b) Selección del método más recomendable según especificaciones del programa de reuso.
- c) Dimensiones de las unidades de la planta.
- d) Sugerencias del equipo necesario y datos básicos generales para proseguir con el diseño ejecutivo.
- e) Planos de: localización de tuberías de ali-

mentación a la planta; emisor; unidades de tratamiento; obras complementarias como viabilidad, bodegas y laboratorio.

- f) Lista de actividades que pudieran servir para continuar el diseño para construcción.
- g) Estudios complementarios como el relativo a energía eléctrica e instalaciones de equipo electromecánico; caminos de acceso; edificaciones anexas y material de laboratorio.
- h) Memoria general.

8) Proyecto de evacuación del agua tratada.

Según se haya definido el uso y sitio del vertido del efluente de la planta, se diseñará el sistema de distribución correspondiente al salir de las instalaciones, para emplearse en los usos:

- a) Industrial
- b) Agrícola
- c) Vertido a corrientes o lagos naturales.
- d) Almacenamiento en presas.
- e) Recarga de acuíferos.
- f) Riego de parques y jardines.
- g) Lagos artificiales.
- h) Recreativo y estético.
- i) Combinación de varios usos.

9.2. Procesos de tratamiento

Gran parte de los procesos se basan en actividades biológicas de dos clases de bacterias: las aerobias y las anaerobias.

Las bacterias aerobias se desarrollan en presencia de oxígeno libre tal como se encuentra en el aire o disuelto en el agua. Las anaerobias también toman el oxígeno pero lo extraen del combinado en los compuestos orgánicos. Por lo tanto, según las condiciones del medio, impera un tipo u otro aunque en ocasiones pueden convivir pero

separadas por un estrato fronterizo como sucede en los depósitos de aguas contaminadas en reposo: en la parte superior se desarrollan las bacterias aerobias y en la inferior, entre los lodos bentales, las anaerobias. Según estas propiedades existe una subdivisión de los procesos biológicos de tratamiento de las aguas negras que los agrupa en **aerobios, anaerobios y facultativos.**

Atendiendo a la secuencia o grupos de unidades de que consta un proceso, se subdividen en **preliminares, primarios, secundarios y terciarios.** Una y otra clasificación se entremezclan con el tipo de bacterias que se desarrollan y tampoco se efectúa una separación estricta de secuencias.

Si se menciona una clasificación de esta naturaleza, se debe más a la eficiencia esperada que al modelo en sí.

Todavía se complica más el asunto de la clasificación de los procesos si se considera la forma principal de eliminar el contenido orgánico y así se tienen de tipo **físico, químico o biológico.**

Los procesos preliminares son generalmente de tipo físico; la sedimentación ocurre por un proceso físico, pero la descomposición que tiene lugar en los sedimentadores es biológica y quizá en la mayoría de estos casos, debida a las bacterias anaerobias. Sin embargo, en otros procesos de orden secundario, también se provoca la sedimentación y la descomposición biológica es aerobia por así provocarla.

Independientemente de estas interacciones, en lo que sigue se opta por explicar los procesos bajo la denominación de preliminares, primarios, secundarios y terciarios.

### 9.3. Procesos preliminares

Son los que inician un cambio en la mejora de la calidad de las aguas contaminadas; pueden ser únicos o entrar en combinación con los siguientes procesos, general-



mente antecediéndolos.

Según las características del agua por tratar y considerando caudales, uso posteriores, sitio de vertido y otros factores, se pueden enumerar las siguientes unidades.

#### 9.3.1. Rejas y rejillas.

Son marcos formados por barras con separaciones desde 1.5 cm hasta 10 cm; se utilizan para proteger las bombas, dispositivos de dosificación, conductos y válvulas, contra objetos que arrastra el agua como pedazos de madera, basura y ramas de arbustos. La cantidad recogida es variable y de allí el escoger de tipo fijo o móvil, con limpieza manual o automática para ambos casos.

#### 9.3.2. Cedazos.

Son mallas o rejas finas con aberturas pequeñas formadas con alambre de hierro, cobre o bronce. Pueden ser también placas perforadas y en ambos casos, su función es detener la materia orgánica que logra pasar por las rejillas. No son de uso común en tratamientos municipales, pero sí son frecuentemente colocados para tratar desechos industriales.

### 9.4. Procesos primarios

Siguen a los preliminares y no obstante que muchas de las instalaciones o unidades son simples, son objeto de un diseño sanitario e hidráulico específico.

#### 9.4.1. Desarenadores.

Se colocan delante de las rejas y rejillas o de los cedazos cuando existen; sirven para eliminar arenas y minerales arrastrados por las aguas negras; consisten en conductos ensanchados o tanques de poco fondo a los que se les regula la velocidad de paso entre 0.25 a 0.30 m/s; con esto se asegura la sedimentación de los materiales de mayor peso como arena y arenilla dejando pasar los materiales en suspensión más ligeros. Se construyen dos o más cámaras para facilitar su limpieza al hacerlos

trabajar en forma alternada; la limpieza en grandes instalaciones se hace en forma mecánica y en tal caso basta con una sola unidad.

#### 9.4.2. Desgrasadores.

Aunque existen diversos tipos, todos tienen la misma función. Uno de los más comunes consiste en una cámara por donde el agua circula lentamente y queda expuesta al paso de aire que se inyecta desde el fondo por medio de tubos perforados. El aire en parte impide la emulsificación y en su ascenso arrastra al aceite hacia la superficie, de donde pasa por las ranuras de un vertedor a cámaras laterales para ser recolectado y tratado como desecho.

#### 9.4.3. Sedimentadores primarios.

Son tanques que permiten la sedimentación de los sólidos sedimentables de las aguas por tratar. La velocidad de paso es por tanto sumamente lenta. Intervienen en su diseño una gran cantidad de parámetros, muchos de ellos de tipo empírico como son las relaciones de largo a ancho, profundidad, pendiente del fondo y otros entre los que vale la pena destacar el tiempo de retención o sea el tiempo que el agua permanece en el tanque desde que teóricamente entra hasta que sale. El tiempo de retención varía en estos tanques de dos a tres horas.

Diseños más detallados se basan además en los contenidos del agua negra y la carga superficial ( $m^3/m^2/día$ ) considerando la eficiencia deseada de eliminación tanto de sólidos suspendidos como DBO. La Tabla N° 30 contiene la información sobre la eficiencia lograda en diferentes unidades o procesos de tratamiento.

#### 9.4.4. Fosas sépticas.

Son construcciones destinadas a evitar la contaminación en poblaciones carentes de drenaje o sistemas colectores. Son depósitos impermeables para el tratamiento de las aguas negras domésticas, efectuándose en ellos una sedimentación y descomposición de la materia orgánica al sufrir

una transformación biológica natural en que las bacterias anaerobias actúan. Estas construcciones generalmente se diseñan para un tiempo de retención de 24 horas para fosas sépticas municipales (uso poco frecuente), y de hasta 3 días para fosas sépticas domiciliarias de pequeño tamaño. La limpieza es esporádica. Una fosa séptica puede convertirse en tanque de sedimentación y viceversa, modificando el funcionamiento sin necesidad de cambios en la construcción. La velocidad del agua que llega a la fosa debe ser baja con objeto de evitar disturbios dentro del volumen receptor retenido.

El agua que sale de la fosa séptica necesitará de un tratamiento posterior de oxigenación puesto que no lo contiene. Esta reoxigenación puede obtenerse por riego subterráneo con tubería perforada; también por inundación superficial de terrenos adecuados, depositando las aguas tratadas en zanjas previamente rellenas con arena y grava. Es frecuente construir cámaras de oxidación consistentes en tanques semejantes a las mismas fosas pero descubiertos; contienen piedra quebrada a manera de filtro.

TABLA N° 30  
EFICIENCIA DE LOS TRATAMIENTOS

PROCESO DE TRATAMIENTO	ELIMINACION EN POR CIENTO		
	DBO	SOLIDOS SUSPENDIDOS	BACTERIAS
Cribado fino	5 - 10	2 - 20	10 - 20
Cloración de aguas negras crudas sedimentadas	15 - 30	- -	90 - 95
Sedimentación simple	25 - 40	40 - 70	25 - 75
Precipitación química	50 - 85	70 - 90	40 - 80
Filtración rápida precedida por sedimentación simple	65 - 95	50 - 80	90 - 98
Filtros rociadores	80 - 95	70 - 90	90 - 95
Lodos activados	75 - 95	85 - 95	90 - 98
Filtración intermitente	90 - 95	85 - 95	95 - 98
Cloración (Trat. biológico)	- -	- -	98 - 99

Fuente: Imhoff (1956)

### 9.5. Procesos secundarios aerobios

Los procesos secundarios generalmente se basan en tratamientos biológicos ya sean aerobios, anaerobios o combinados. Le anteceden algunas de las unidades preliminares y primarias, casi siempre rejillas, desarenadores y sedimentadores primarios. Entre los más comunes de tipo aerobio están los siguientes procesos:

#### 9.5.1. Lodos activados.

Se logra la proliferación de las bacterias aerobias mediante la oxigenación forzada en el reactor o tanque de aeración; las bacterias al buscar su alimento forman flóculos orgánicos que al aumentar de diámetro y peso, se sedimentan fácilmente en los tanques de sedimentación secundarios. Del fondo de estos tanques se regresa al reactor una parte de los sedimentos que se denominan lodos, con objeto de activar la formación de los flóculos en los nuevos volúmenes por tratar, debiéndose a esto el nombre de lodos activados.

En el tanque de aeración, el oxígeno se provee por medio de tuberías con aire a presión; en la tubería se insertan difusores, cuyo número y forma depende del volumen de aguas negras, de la cantidad de materia orgánica que contiene y el sistema específico de tratamiento. El volumen de oxígeno se determina en laboratorio a fin de mantener en el tanque un equilibrio con el contenido de materia orgánica y la capacidad bacteriana; de aquí el criterio de diseño para la capacidad del reactor en base a los sólidos suspendidos del licor mezclado. Con los difusores se logra mantener al agua en constante movimiento para su correcto contacto con el aire, el cual debe salir en burbujas lo más pequeñas posible.

Existen variantes del sistema tradicional que consisten en la forma de realizar tanto la aeración como la distribución del lodo de retorno.

Una vez efectuada la decantación en el sedimentador

secundario, se lleva el agua a una desinfección (generalmente cloración); los lodos sedimentados pasan a su vez a un tratamiento en donde se efectúa la descomposición de la materia orgánica que llevan. El tratamiento a que se someten los lodos puede ser natural o activado en lo que se denomina digestión. Es preferible hacerlo de esta última manera por las ventajas de espacio y molestias que representa sobre un secado natural.

Actúan nuevamente las bacterias en este proceso, solamente que hay que considerar que las temperaturas a las que se realiza la acción son mayores a las del ambiente. La temperatura adecuada para el desarrollo de las bacterias como término medio es de 35° C (mesofílicas); abajo de esta temperatura sobreviven las psicofílicas y arriba las termofílicas. Las patógenas están acostumbradas a una temperatura de 35° C que es la del cuerpo humano, de allí su peligrosidad de proliferación. El proceso de digestión de los lodos es mesofílico que resulta más rápido que el termofílico preferido hasta hace pocos años.

Dentro del digestor y mediante la descomposición de la materia orgánica, se originan grandes cantidades de gases combustibles que pueden producir suficiente calor para ser aprovechado en el serpentín del digestor cuando éste se diseña como termofílico. Del digestor se extraen los lodos que son líquidos con poco mayor densidad que el agua. Para su desecho final y rápido, se les puede eliminar mecánicamente el agua haciéndolos pasar por filtros de vacío o alojándolos en lechos de secado de arena con drenaje adecuado.

Los lodos retienen por mucho tiempo el agua y es difícil que se sequen pronto; digeridos cambian esa propiedad pudiéndose acelerar por el filtrado y su posterior secado en horno. Los lodos de desecho o el material seco, tienen un poder fertilizante muy bajo que los hacen pobres competidores frente a los de tipo químico u orgánico ya preparados, pero pueden ser usados como simples mejoradores de suelos.

### 9.5.2. Filtros rociadores.

Este tratamiento es muy semejante al de lodos activados; consta de las mismas unidades diferenciándose solamente en la forma de aerar el agua, pues en este procedimiento se logra mediante el rociado del agua negra sedimentada sobre un lecho filtrante constituido de pedacerfa de piedra. Durante el paso del agua por la atmósfera y parte del escurrimiento sobre el material de filtro, las bacterias consiguen su oxígeno, imperando de esta manera las aerobias.

La capa gelatinosa que se logra desarrollar sobre la superficie de la pedacerfa de piedra que forma el filtro, es un verdadero cultivo de bacterias en simbiosis con hongos y otras especies superiores, los cuales digieren la materia orgánica que lleva el agua ya rica en oxígeno desde su desprendimiento a través de los aspersores.

El agua se recolecta del fondo del tanque filtrador para conducirse al sedimentador secundario y finalmente a desinfección.

También de este tratamiento existen variantes que dependen del modo de recircular los lodos y más marcadamente de la forma del filtro rociador. Actualmente están empleándose mucho las torres en sustitución de los tanques relativamente amplios y de poco fondo que contienen el material filtrante. En tal caso se puede sustituir la pedacerfa de piedra por placas para sostener la capa bacteriana.

### 9.5.3. Filtros intermitentes y lechos de contacto.

Son semejantes a los filtros rociadores solo que en vez de distribuir el agua contaminada sobre el filtro con aspersores, éste se inunda. Puede estar formado por material granular natural o artificial, por donde se hace pasar el agua en forma discontinua o sea que se alterna la acción de llenado y vaciado, adquiriendo de esa manera la oxigenación del agua para la continuación del proceso.

Son adecuados para caudales pequeños y casi siempre para zonas rurales; por lo demás, el principio es igual al que se verifica en los lodos activados y filtros rociadores.

#### 9.5.4. Rotores.

Existen otras formas de aprovechar los procesos biológicos para el tratamiento de las aguas negras, como el que se realiza a base de discos, que unidos para formar un cilindro, giran semisumergidos en un tanque de aguas negras produciéndose con el giro de la unidad, la aeración por exposición directa al aire.

El cultivo bacteriano que crece y apoya en los discos, se desprende cuando adquiere un desarrollo y volumen que lo hace caer al fondo del tanque.

#### 9.5.5. Lagunas de estabilización.

Las lagunas de estabilización son de primordial importancia entre los procesos de tratamiento biológico de las aguas negras tendientes a remover o estabilizar la materia orgánica y mineral que contienen; representan ventajas económicas tanto en su diseño y construcción, como en su mantenimiento y operación si se les compara con otros procesos de tratamiento de igual eficiencia.

Este proceso presenta aspectos interesantes para su aplicación en la República Mexicana, aún cuando se requieren estudios e investigaciones que hagan factible y eficiente su implantación.

Si los procesos desarrollados son aerobios, la laguna se denomina de oxidación; si son aerobios y anaerobios, se llama facultativa. También existen lagunas que trabajan exclusivamente como anaerobias pero van seguidas inmediatamente de las aerobias.

En los procesos del tratamiento intervienen factores físicos, químicos y biológicos en estrecha correlación; los más importantes son los siguientes:

- a) Físicos: Temperatura ambiente y sus variaciones extremas, insolación, evaporación, precipitación pluvial, vientos, infiltración, altitud y latitud.
- b) Químicos: Demanda Química de Oxígeno, elementos y compuestos nutrientes y contaminantes resistentes a su desdoblamiento.
- c) Biológicos: Demanda Bioquímica de Oxígeno, fotosíntesis y simbiosis entre bacterias y algas.

La temperatura influye directamente en la rapidez de las reacciones químicas y biológicas. A temperaturas mayores de 35° C se presentan efectos nocivos tales como proliferación de algas verdiazules que originan manchas superficiales; disminución de la actividad de las algas verdes; aumento del ritmo de consumo de oxígeno por las bacterias; y producción de gases en el sedimento bental. A temperaturas inferiores a 4° C la actividad de algas y bacterias se hace insignificante.

La precipitación y evaporación actúan en correspondencia; si hay predominio de la precipitación, se produce la dilución del efluente o su concentración si la evaporación es superior. Ambas influyen en la DBO del efluente, eficiencias y tiempo de retención, haciéndose necesaria una corrección al diseño si la variación es significativa.

La influencia del factor insolación ha sido demostrada en numerosas experiencias. El proceso fotosintético de las algas se realiza en presencia de la luz, teniendo un punto límite para la utilización de la energía luminosa llamado saturación de intensidad.

El factor viento puede intervenir favorablemente en el proceso al promover un mezclado por corrientes verticales en la hidromasa, ayudando de este modo a la reoxigenación y distribución de los nutrientes.

Se maneja también el concepto de carga orgánica en el que intervienen dos factores: el volumen y la contaminación aplicados. El volumen tiene importancia porque



está directamente relacionado con el periodo de retención. La contaminación comprende a los constituyentes físicos, químicos y biológicos que componen el influente. El tiempo de retención es un importante parámetro de diseño directamente relacionado con la eficiencia del proceso, por ello es fundamental evitar los flujos en corto circuito mediante un diseño adecuado de los dispositivos de entrada y salida.

Este tipo de tratamiento puede también ser combinado en cuanto a los procesos aerobios y anaerobios. En sí el procedimiento general consiste en el aprovechamiento de los rayos solares para mantener la vida de las algas microscópicas, pues la acción fotosintética de estos vegetales efectúa la oxigenación de las aguas. Se practica este proceso en tanques construidos en terreno natural amplio, más o menos plano y horizontal pudiendo ser excavados o superficiales limitado por bordos. Generalmente el tiempo de retención es de 30 días aunque puede variar dependiendo de la temperatura, iluminación y grado de contaminación. Con objeto de que la iluminación solar incremente la vida vegetal, el tirante del agua en las lagunas aerobias deberá fluctuar entre 1.00 y 1.50 m aunque se han obtenido iguales resultados hasta con 3.00 m de profundidad.

Cuando por razones de espacio no pueda realizarse el diseño en forma totalmente natural, se ayuda la aeración por medio de acción mecánica. Son aeradores soportados en balsas que pueden ser desplazados o quedar fijos en lugares previamente establecidos en el área de la laguna. Estas lagunas son más efectivas si se realizan los dos procesos biológicos.

#### 9.6. Procesos secundarios anaerobios

Como principal proceso secundario anaerobio se puede mencionar al tanque Imhoff; la fosa séptica aunque semejante, es mejor clasificarla como primario.

#### 0.6.1. Tanque Imhoff.

Son verdaderos sedimentadores consistentes en un tanque rectangular con fondo triangular o piramidal. En la parte media superior llevan un canal de circulación con una ranura al fondo por donde pasan los sedimentos al tanque.

El agua entra a través del canal superior (cámara de circulación) y va dejando caer toda la materia orgánica sólida y pesada por la ranura hacia el fondo del tanque (cámara de sedimentación). El lodo acumulado en el fondo se va descomponiendo por acción anaerobia; aunque estos tanques no van cerrados, la nata que sobrenada impide la entrada del aire al interior, pudiéndose mantener de esa manera con mayor facilidad el proceso anaerobio. El lodo se extrae de tiempo en tiempo y se vierte en áreas especiales para su secado. Esta operación es molesta; debe localizarse el tiradero en sitios que no provoquen malos olores a comunidades vecinas.

La descomposición de la materia orgánica en el tanque provoca desprendimiento de gases con burbujeo; pero estas burbujas no interfieren con el paso lento y tranquilo del agua a través de la cámara de circulación por no llegar a ella. Los lodos deben extraerse del tanque antes de que lleguen a obstruir la ranura del canal superior por donde bajan los sólidos. Para conocer ese momento, se introduce un disco con un vástago que detecta dónde el agua cambia de densidad. Si están próximos a obturar la ranura, se procede a su vaciado mediante tubos que hacen pasar al lodo por carga hidráulica; cuando el líquido que sale del tubo cambia de color, es señal que han terminado de escurrir. Con la experiencia del operador, la limpieza no se efectuará en su totalidad, dejándose una siembra de bacterias anaerobias que serán la base de la proliferación en las posteriores aguas por tratar.

El agua que sale del tanque ya puede ser depositada en las corrientes receptoras, con el cuidado que en su

curso el agua vaya tomando oxígeno de la atmósfera para evitar perjuicios en el cuerpo de agua al cual se tiran.

#### 9.7. Procesos terciarios

Son refinamientos a los procesos secundarios y aunque muchas veces constan de varios pasos, siguen incluyéndose como terciarios.

Se encuentran dentro de esta clasificación muchos de los de tipo químico que actúan sobre la sedimentación y por tanto en la mejora de calidad en cuanto a turbiedad y color. Se puede considerar terciario a la filtración en tanques de arena después de la sedimentación secundaria, al paso del agua tratada por lechos de zeolitas y así, todo lo que modifique la calidad del agua después de un tratamiento de orden secundario.

#### 9.8. Ejercicios

- 1) De catálogos y libros especializados obtenga mayor información sobre los tanques de sedimentación. Haga un resumen de las características principales y la forma de limpieza que se emplea.
- 2) Haga un esquema del funcionamiento del proceso a base de filtros rociadores y explique el porqué de cada unidad de que constan. Marque las variantes según la entrada del lodo de retorno a las unidades.
- 3) Investigue y comente sobre las lagunas de estabilización como proceso biológico de tratamiento para desechos industriales.

## BIBLIOGRAFIA

1. Margalef, R. Ecología. Omega (1974).
2. Hutchinson, G.E. A treatise on Limnology Vol 1 John Wiley (1957).
3. Wetzel, R.G. Limnología. Omega (1981).
4. Angel, H.-Wolsely, P. The water Naturalist. Roxby Water Naturalis Ltd. (1982).
5. Lvovitch, M.I. World Water Resources. Present and Future. AMBIO, 6,(1), (1977).
6. Lorenzo, J.L. Los Glaciares de México. Instituto de Geofísica, UNAM, (1964).
7. Kotliakov, V.M. En los Glaciares del Pamir Mir, (1980).
8. Bassols, B.A. Recursos Naturales de México. Ed. Nuestro Tiempo (1976).
9. La Mont C.C. Una carrera por la supervivencia. Servicio de información de los Estados Unidos, (1971).
10. Ward, B.-Dubos, R. Una sola tierra. Fondo de Cultura Económica, (1972).
11. Le loud, P. Oil Pollution in the Mediterranean Sea. AMBIO 6,(6), (1977).
12. Council of Europe. Oil Pollution of the Sea. Synopses. AMBIO, 8,(4), (1979).
13. Ostenberg, Ch.-Keckes, S. The State of Pollution of Mediterranean Sea. AMBIO, 6, (6), (1977).

- 166 Evaluación, efectos y solución de la contaminación de aguas
14. Lindén, O. Effects of Oil on the Reproduction of the Amphipod *Gammarus oceanicus*. *AMBIO* 5,(1),(1976).
  15. APHA-AWWA-WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (1980).
  16. ASTM. Manual de Aguas para usos Industriales. Limusa, (1976).
  17. Whipple, C.Ch. The Microscopy of Drinking Water. John Wiley (1954).
  18. OMS-OPS. Las radiaciones ionizantes y sus efectos en la población. (1965).
  19. Klein, L. River Pollution. Vol 2, Butterworths, (1962).
  20. Degremont. Manual Técnico del Agua. (1979).
  21. Murguía, V.E. y Col. Efecto que produce en los cultivos y en el ganado el empleo de agua conteniendo detergente. Instituto de Ingeniería, UNAM. (1969).
  22. Murguía V.E. Almacenamiento de aguas negras por períodos prolongados. Instituto de Ingeniería, UNAM. (1970).
  23. Klein, S.A.-McGauhy, P.H. Degradation of biologically soft detergens by wastewater. Treatment processes. *WPCF* 37,(1),(1965).
  24. Fair, G.M.-Geyer, J.Ch.-Okun, D.A. Purificación de aguas y tratamiento y remoción de aguas residuales. Limusa Wiley, S.A. (1971).
  25. McKee-Wolf. Water Quality Criteria. California, U.S. Public Health Service. (1963).
  26. SARH. Dirección General de Protección y Ordenación Ecológica. Índice de Calidad del Agua. (1979).
  27. Gorsky, N.N. El Agua. Ed. Academia de Ciencias de la URSS. (1962).
  28. U.S. Dep. H.E.W. Pub. Nº 1167 (1964).
  29. SRH. Dirección General de usos del agua y Prevención de la Contaminación. Pub. Nº del 1 a 12 (1976).
  30. Mitchel, R. Water Pollution Microbiology. John Wiley (1972).
  31. SSA. Reglamento Federal sobre Obras de Provisión de Agua Potable. Diario Oficial de la Federación 2 de julio de 1953.
  32. Unda, O.F.-Salinas, C.S. UTEHA (1969).
  33. Imhoff, K.-Fair, G.M. Sewage Treatment. John Wiley (1956).
  34. Nemerow, N. Liquid Waste of Industry. Addison-Wesley (1971).
  35. Banks, R.B. Modelo de celdillas de mezclado para calcular oxígeno disuelto y demanda bioquímica de oxígeno en ríos y lagos. *Revista Ingeniería*. Facultad de Ingeniería, UNAM.

36. SPP. *Cómo es México* (1978).
37. SRH. *Plan Nacional Hidráulico*. (1975).
38. SRH. *Revista Ingeniería Hidráulica en México J-A-S* (1957).
39. Velz, J.C. *Applied Stream Sanitation*, John Wiley (1970).
40. Gray, E.A. *Microbiología*. Dunod (1956).
41. Round, F.E. *The Biology of the Algae*. Arnoco (1965).
42. Naegelé, E. Neagelé, A. *Les Algues*. Que Sais-Je N° 918. Presses Univ. France (1968).
43. Prescott, G.W. *The Fresh-Water Algae*. W.M.C. Brown, Co. Pub. (1964).
44. DDF. *Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica*. 1978-1979.
45. DDF. *Dirección General de Obras Hidráulicas. Laboratorio* (1954).
46. LUG, S.A. *Estudios y Proyectos* (Sept. 1973).
47. Murguía, V.E. *Observación personal* (1978).
48. Camp, T.R. *Water and its Impurities*, Reinhold Pub. Co. (1963).
49. Marín Vergara Manuel, Lic. *Conferencia SMIS* (1970)
50. SSA. *Subsecretaría de Mejoramiento del Ambiente* (1982).

## INDICE

ACIDEZ	55
AGUA PLUVIAL, REPUBLICA MEXICANA	5
AGUA SUBTERRANEA, DISTRIBUCION MUNDIAL	4
AGUA, CALIDAD	91
AGUA, CANOTAJE Y DISFRUTE ESTETICO	97
AGUA, DESARROLLO Y PROTECCION DE FAUNA	96
AGUA, DISTRIBUCION MUNDIAL	3
AGUA, ENERGIA Y NAVEGACION	97
AGUA, NATACION	97
AGUA, PROPAGACION DE PECES	96
AGUA, RIEGO AGRICOLA	92
AGUA, USO DOMESTICO	92
AGUA, USO INDUSTRIAL	92
AGUA, USOS	91
AGUAS NEGRAS	109
AGUAS SUBTERRANEAS, REPUBLICA MEXICANA	5
ALCALINIDAD	55
ALCALINIDAD, FORMULA INDICE DE CALIDAD	102
ALGAS	75
ALGAS	107
ALGAS, CLASIFICACION	77
ALGAS, DETERMINACION	82
ALGAS, FIGURAS	81
AMONIACO	50
ANALISIS DE AGUAS, TABLAS	84
ANALISIS DE LAS AGUAS CONTAMINADAS	27
ANALISIS DE PARAMETROS FISICOS	31
ANALISIS, CLASIFICACION	30
ANALISIS, TIPOS	29
AUTODEPURACION DEL AGUA	122
BACTERIAS	107
BACTERIAS, SUBDIVISION	69
BACTERIOLOGIA	68
BACTERIOLOGIA EN MEDIO LIQUIDO	73
BACTERIOLOGIA EN MEDIO SOLIDO	73
BACTERIOLOGIA, DETERMINACION	72
BACTERIOLOGIA, PRUEBAS CONFIRMATIVAS	71
BACTERIOLOGIA, PRUEBAS PRESUNTIVAS	71
BIBLIOGRAFIA	165
BIOXIDO DE CARBONO	106
CEDAZOS	154
CHLOROMONADOPHYTAS	80
CHRYPTOPHYTAS	79
CHRYSOPHYTAS	78
CHURCHILL-ELMORE-BUCKINHAM, FORMULA	129
COLOROPHYTAS	77
CLORUROS	51
CLORUROS, FORMULA PARA INDICE DE CALIDAD	103
CODIGO SANITARIO	114
COLIFORMES	70

COLIFORMES, FORMULA INDICE DE CALIDAD	103
COLOR, DETERMINACION	32
COLOR, DETERMINACION EN CAMPO	33
COLOR, DETERMINACION EN LABORATORIO	33
COLOR, FORMULA PARA INDICE DE CALIDAD	102
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA	42
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA, DETERMINACION	43
CONDUCTIVIDAD ELECTRICA, INDICE CALIDAD	102
CONSTITUCION POLITICA	114
CONSTANTES (K1, K2, K3)	136
CONTAMINACION ACUATICA	105
CONTAMINACION DE AGUAS MARINAS	13
CONTAMINACION DE AGUAS SUBTERRANEAS	10
CONTAMINACION DE AGUAS SUPERFICIALES	9
CONTAMINACION, ORIGEN	1
CONTAMINACION, PARAMETROS FISICOS	31
CORRIENTES RECEPTORAS, CARGAS	135
CYANOPHITAS	77
DBO, DETERMINACION	67
DBO, FASES O ETAPAS	58
DBO, FORMULA PARA INDICE DE CALIDAD	103
DBO, TABLA RESPECTO AL TIEMPO	66
DBO, TEORIA	59
DBO, TIEMPO Y TEMPERATURA	64
DEFICIT CRITICO	137
DEMANDA BIOQUIMICA DE OXIGENO (DBO)	54
DEMANDA QUIMICA DE OXIGENO (DQO)	55
DESARENADORES	154
DESECHOS INDUSTRIALES	110
DESGRASADORES	155
DESOXIGENACION	125
DETERGENTES	51
DETERGENTES CATIONICOS	53
DETERGENTES, DETERMINACION	54
DETERGENTES, EFECTOS	108
DETERGENTES, FORMULA INDICE DE CALIDAD	103
DISTRIBUCION MUNDIAL DE AGUA	3
DUREZA TOTAL, FORMULA INDICE DE CALIDAD	102
E. COLI, NUMERO MAS PROBABLE	70
ECOLOGIA	105
EUGLENOPHYTAS	78
EVALUACION DE LA CONTAMINACION	99
FILTROS INTERMITENTES	159
FILTROS ROCIADORES	159
FOSAS SEPTICAS	155
FOSFATOS, FORMULA PARA INDICE DE CALIDAD	103
GALERIAS FILTRANTES	13
GRASAS Y ACEITES, INDICE DE CALIDAD	102
INDICE DE CALIDAD	99
INDICE DE CALIDAD, FORMULAS	102



INDICE DE CALIDAD, PARAMETROS	101
INDICE DE CALIDAD, TABLA USOS DEL AGUA	104
ISOTOPOS RADIACTIVOS	16
LABORATORIO MOVIL	24
LABORATORIO PORTATIL	24
LABORATORIOS	18
LABORATORIOS	22
LAGUNAS DE ESTABILIZACION	160
LEGISLACION	112
LEGISLACION NACIONAL	113
LEGISLACION, COMENTARIOS	118
LEY FEDERAL DE AGUAS	117
LEY FEDERAL DE PROTECCION AL AMBIENTE	117
LODOS ACTIVADOS	157
MANANTIALES	12
MATERIA SEDIMENTABLE	40
MATERIA SUSPENDIDA	40
MICROSCOPIA	74
MUESTRAS COMPUESTAS	19
MUESTRAS PROFUNDAS	20
MUESTRAS SUPERFICIALES	20
MUESTRAS, TRANSPORTE	24
MUESTREO AISLADO	18
MUESTREO PARA ANALISIS BIOLOGICOS	21
MUESTREO, SITIOS	24
MUESTREOS	100
MUESTREOS	18
NITRATOS	50
NITRATOS, FORMULA PARA INDICE DE CALIDAD	103
NITRITOS	50
NITROGENO	49
NITROGENO ALBUMINOIDEO	50
NITROGENO AMONIACAL, INDICE DE CALIDAD	103
NITROGENO ORGANICO	50
O'CONNOR-DOBBINS, FORMULA	129
OLOR INCIPIENTE	36
OLOR, DETERMINACION	34
OLOR, TABLA DE CALIDAD	35
OLOR, TABLA DE INTENSIDAD	35
ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD	1
OXIGENO DISUELTO	44
OXIGENO DISUELTO	124
OXIGENO DISUELTO EN LAGOS	139
OXIGENO DISUELTO, BALANCE	129
OXIGENO DISUELTO, DETERMINACION	47
OXIGENO DISUELTO, INDICE DE CALIDAD	103
OXIGENO DISUELTO, TABLA DE "F"	132
OXIGENO, FACTOR DE CORRECCION	46
OXIGENO, SOLUBILIDAD EN AGUA	45
PARAMETROS BIOLOGICOS	56

PARAMETROS QUIMICOS	44
PETROLEO E HIDROCARBUROS	13
PETROLEO EN EL MAR MEDITERRANEO	14
PETROLEO, DERRAMES	15
PH	41
PH, DETERMINACION EN CAMPO	42
PH, DETERMINACION EN LABORATORIO	42
PH, FORMULA PARA INDICE DE CALIDAD	102
PHAEOPHYTAS	80
PLANCTON, LAMINA GRAFICA	86
POBLACION MUNDIAL, CRECIMIENTO	8
POZOS	12
PREVENCION DE LA CONTAMINACION	146
PROCESOS DE TRATAMIENTO	152
PYRROPHYTAS	79
RADIOACTIVIDAD	16
RADIOACTIVIDAD, DOSIS NATURAL	43
RECURSOS HIDRAULICOS, DISTRIBUCION	2
REJAS	154
REOXIGENACION	125
REOXIGENACION ATMOSFERICA	127
RESIDUOS, SOLIDOS TOTALES	38
RHODOPHYTAS	80
RIEGO CON AGUAS NEGRAS	109
ROTORES	160
SEDIMENTADORES PRIMARIOS	155
SOLIDOS DISUELTOS, INDICE DE CALIDAD	102
SOLIDOS SEDIMENTABLES	40
SOLIDOS SUSPENDIDOS	40
SOLIDOS SUSPENDIDOS, INDICE DE CALIDAD	102
SOLIDOS, CLASIFICACION	39
SOLIDOS, DETERMINACION	39
TANQUE IMHOFF	163
TEMPERATURA, DETERMINACION	32
TEMPERATURA, EFECTOS	108
TRATAMIENTO, PROCESOS	152
TRATAMIENTOS	146
TRATAMIENTOS PRELIMINARES	153
TRATAMIENTOS PRIMARIOS	154
TRATAMIENTOS SECUNDARIOS	157
TRATAMIENTOS TERCARIOS	164
TRATAMIENTOS, EFICIENCIAS	156
TURBIEDAD, ALAMBRE DE PLATINO	37
TURBIEDAD, DETERMINACION EN CAMPO	36
TURBIEDAD, DETERMINACION EN LABORATORIO	37
TURBIEDAD, FORMULA INDICE DE CALIDAD	102
VAN'T HOFF ARRENIUS, ECUACION	128
VIDA MEDIA DE ISOTOPOS RADIOACTIVOS	16
VISCOSIDAD DINAMICA	53
WHIPPLE, EQUIPO	82