

geno necesario a la respiración de las bacterias. En la práctica, ese tipo de asociación es utilizada en el tratamiento o estabilización de las aguas negras, en los sistemas llamados "Lagunas de Estabilización". En estas lagunas predominan, generalmente, algas verdes como Chlorella, Ankistrodesmus, Golenkinia, Actinastrum, Scenedesmus y otras; las verdeazuladas, como Microcystis que llegan a dominar, cuando la temperatura es un poco más alta; y son muy importantes los cloroflagelados como por ej: Euglena, Phacus, Lepocinclis, Trachelomonas, Strombomonas, Chlamydomonas, Eudorina, Pandorina, etc. (18). Además de las algas y de las bacterias, son frecuentes en estas lagunas los protozoarios leucoflagelados, ciliados, así como las larvas y adultos de insectos (coleópteros y hemípteros belostomatídeos) moluscos gasterópodos (caracoles) y a veces microcrustáceos cladóceros. La producción de oxígeno en el día es suficiente para compensar toda la demanda del día y de la noche.

5.3. Polución Física y Físico-química.

Como se ha dicho, la polución no es debida, siempre a la presencia de compuestos tóxicos o putrescibles en un cuerpo de agua. Hay varios factores de carácter físico o físico-químico que pueden provocar cambios en el ambiente y, por ello, producir interferencias nocivas en la vida acuática o, aún causar problemas directamente a la salud pública. Los principales son: color, turbidez, temperatura, pH, radioactividad y ósmosis y tensión superficial.

5.3.1. Color y Turbidez.

La introducción de sustancias colorantes o la de partículas en suspensión temporal o permanente puede provocar no solamente cambios en la intensidad luminosa a diferentes profundidades en un cuerpo de agua, sino también fenómenos de soterramiento de los organismos que viven en el fondo. La vida de las algas y otros organismos fotosintéticos es principalmente perjudicada por la obstrucción a la penetración de la luz solar de tal manera que las aguas que son pobres en compuestos minerales nutrientes pero transparentes, pueden contener mayor número de algas que las aguas ricas en nutrientes y pobres en luz. Por el mismo motivo, en los lagos de aguas muy coloreadas, el número de algas decrece muy sensiblemente de la superficie hacia el fondo (19). La turbidez, en cambio, es el factor más importante en la limitación de la luminosidad en las aguas de los ríos (20), pues, por su movimiento, llevan mayores cantidades de materias en suspensión que los cuerpos de agua sin movimiento.

Además de provocar turbiedad, las partículas en suspensión pueden ser la causa de otros daños a los organismos acuáticos (21): esas partículas sólidas forman una especie de "nubes" en el interior del cuerpo de agua, provocando la asfixia de los animales, por deposición de esas partículas en sus órganos respiratorios acuáticos; o pueden provocar o acelerar la

precipitación y soterramiento de partículas orgánicas que sirven de alimento de la fauna. Los peces pueden ser eliminados por soterramiento o ruptura de sus huevos, cambios en las características del lecho (para su reproducción), reducción de la profundidad o por desaparecimiento de las algas, crustáceos, gusanos e insectos que son su fuente de alimento. Otros efectos sobre los microorganismos, son: el arrastre de los animalitos hacia el fondo, provocado por la adherencia de las partículas a su cuerpo (por adsorción); fricción; reducción del oxígeno disuelto, etc. (22).

Algunos organismos, como Nais, Tanytus y caracoles son resistentes a la presencia de alta turbidez (5). Se ha observado que el número de bacterias del grupo coliforme y, probablemente el número total de bacterias es más grande cuando hay turbidez, aunque ciertos géneros, como Sphaerotilus disminuyen invariablemente. Las algas verdeazuladas, así como las algas verdes filamentosas y algunos cloroflagelados (ej: las Euglenas), son más sensibles a la turbidez que los ciliados y ciertas otras especies de cloroflagelados (ej: Volvox).

Sin embargo, la turbidez y la sedimentación de partículas pueden ser útiles, como agentes autopurificadores, en la destrucción de microorganismos indeseables y en la remoción de la radioactividad producida por ciertas clases de desechos, pues los elementos radioactivos son adsorbidos por las partículas en suspensión y arrastrados con ellos. En experimentos de laboratorio fué posible demostrar la eficiencia de ese proceso en la remoción del uranio, fierro, cesio y niobio radioactivos (22).

5.3.2. Temperatura.

Los diferentes tipos de organismos pueden tener comportamientos distintos en relación a los cambios de temperatura del ambiente. Por ello, los organismos que viven en un cuerpo de agua pueden ser influenciados de maneras distintas por una "polución térmica", producida por desechos industriales calientes, como por ejemplo, las aguas utilizadas en la refrigeración de máquinas térmicas. Los efectos del calor pueden ser directos, produciendo la coagulación de las proteínas que forman el material protoplasmático de las células; o puede tratarse de una influencia indirecta, ya sea por una elevación del potencial de toxicidad de ciertas sustancias disueltas en el agua (como la rotenona, por ej.) o por facilitar la proliferación de los microorganismos competidores (parásitos) o finalmente, porque la temperatura provoca una pérdida de oxígeno disuelto, en el agua. En este último caso, hay en realidad un doble efecto de la elevación de la temperatura, pues, al mismo tiempo que ésta provoca una disminución del contenido de oxígeno del agua, provoca también una elevación de la actividad fisiológica y biológica en general, de los seres acuáticos y, por ello, un mayor consumo respiratorio de oxígeno (23) (24). La concentración de oxígeno en el agua a los 30°C es, aproximadamente, igual a la mitad de la concentración existente a 0°C y a la presión normal. Hay, pues,

una "demanda térmica de oxígeno" en el desague calentado, con un efecto muy semejante al producido por los desagues orgánicos. Por todos estos motivos es que, en épocas de verano, las condiciones ambientales son muy perjudicadas, hasta con el apareamiento de condiciones sépticas en aguas que, en invierno, poseen oxígeno disuelto.

Los peces sobre todo, como las truchas y salmones, así como también un gran número de algas, larvas de insectos, crustáceos, etc., son sumamente sensibles a las elevaciones de temperatura, aún cuando éstas sean pequeñas. Al contrario, hay algas diatomeas y verdeazuladas que viven bien en ambientes con más de 40°C (hasta 70°C). Así es como, la polución térmica puede provocar una selección de organismos, por proceso semejante al que es provocado por los desagues químicos y domésticos, y el ambiente pasa a estar poblado solamente por las especies resistentes a las altas temperaturas. Phormidium es un alga verdeazulada que, con frecuencia, pasa a ser dominante en aguas calientes.

5.3.3. Potencial Hidrogeniónico (pH)

Los cambios muy largos del pH, producidos, por ejemplo, por desagues que contienen ácidos fuertes pero cuyo anión es inofensivo, pueden también, provocar cambios en la flora y la fauna de un cuerpo de agua. Este aspecto se estudia muy bien con relación a la población de peces (25) (26). Aunque ciertas especies sean resistentes a un pH hasta de 4, la mayor parte de los peces no puede soportar un pH por debajo de 5, y con relación a los álcalis, pocos son los que soportan ambientes con pH mayores que 9. Así es como, si las otras condiciones son favorables, las variaciones entre los límites de 5 y 9 no pueden producir efectos letales sobre la mayor parte de los peces comunes de aguas dulces, así como tampoco a los moluscos y, probablemente, a otros animales (27). El efecto del pH es generalmente indirecto, provocado por la influencia que puede ejercer sobre la toxicidad de ciertos compuestos, como por ejemplo, el amoníaco, los metales pesados, el hidrógeno sulfurado, la formación de ácido cianhídrico a partir de los cianuros, etc.

5.3.4. Radioactividad.

Los desagues que contienen residuos ionizantes, como los que provienen de reactores nucleares y varias industrias (fábricas de pinturas fosforescentes, relojes, etc.) son motivo de constante preocupación para los ingenieros sanitarios. La radioactividad de estos residuos puede transmitirse al hombre por muchos y distintos caminos: por la bebida directa del agua contaminada o su utilización en la comida; por intermedio de los vegetales, cuando las aguas de regadío son contaminadas, o por la carne de ganado que fué alimentado con esos vegetales; o por la carne de pescado procedente de peces que se han alimentado con microorganismos acuáticos contaminados, etc.

Ha sido ya bien comprobado el hecho de que los isótopos pueden ser concentrados en las células de organismos resistentes a su acción ionizante, como el plancton y los peces (28) (29). Por ese proceso la pequeña radioactividad existente en las aguas puede ser concentrada hasta 100,000 veces en estos organismos, los cuales pasan a ser un peligro potencial para el hombre que se alimenta con ellos, por causarle enfermedades, así como también a sus descendientes. Se han establecido relaciones entre la incidencia de tumores malignos en poblaciones humanas y la radioactividad presente en las aguas utilizadas en su abastecimiento (3).

Las algas de aguas dulces pueden concentrar, en sus células, los isótopos radioactivos que son absorbidos del medio como nutrientes minerales. Así es como la intensidad de las radiaciones ionizantes en el interior de esos microorganismos llega a ser muchos miles de veces mayor que la existente en el agua. Desde el punto de vista del abastecimiento de aguas, ese proceso puede ser benéfico, si se considera que esas algas son eliminadas del agua por los procesos de tratamiento, pero sería necesario una buena operación del sistema de tratamiento para impedir la acumulación de las algas y su fragmentación en los sedimentadores y filtros (23). Pero, el mayor peligro que ofrecen esas concentraciones está relacionado con su transmisión, de las algas a los hombres, por intermedio de los peces.

5.3.5. Osmosis.

Las sales minerales, consideradas en su conjunto, cuando están presentes en las aguas en altas concentraciones pueden llegar a constituir un factor de polución física, o más bien físico-química. Muchos de los organismos que viven en aguas dulces no pueden vivir en el agua de mar, o asimismo en aguas salobres, porque no poseen mecanismos especiales de defensa contra el alto valor osmótico del ambiente. Es decir que, cuando esos organismos son colocados en un medio de alta salinidad, el agua de sus células es, en cierta forma, "absorbida" por el ambiente. Así, sus células se marchitan, en un fenómeno llamado plasmólisis y el organismo se muere. Si se coloca, por ejemplo, una pierna de un sapo en el agua de mar, la pérdida de agua de sus tejidos es suficiente para producir la muerte del animal (31). En cambio, los seres adaptados a la vida oceánica, poseen sistemas que impiden la salida de agua de sus células, a través de una regulación de la presión osmótica interna, la cual se obtiene por la entrada y salida de sales en las células (epitosis) observada también en ciertas especies de algas de aguas dulces (32).

Por el contrario, los organismos que viven en aguas dulces, deben poseer sistemas de eliminación de agua del interior de sus células, para impedir el fenómeno de turgencia celular, que puede llegar a romper sus membranas. Muchos protozoarios poseen vacuolos pulsativos, para la expulsión rítmica del exceso de agua que entra en la célula. Los organismos que pueden soportar rápidas variaciones de presión

osmótica en el ambiente, son llamados eurihalinos; los que no pueden soportar esas variaciones, porque poseen presión osmótica interna constante, son denominados estenohalinos. Los organismos de aguas dulces, más resistentes a la elevación de la concentración osmótica del medio pueden ser buenos indicadores de la polución debida a los desagues salinos o al agua del mar.

5.3.6. Tensión Superficial.

Los desagues que contienen sustancias tensio-activas, como los jabones y los detergentes sintéticos, pueden ser causa de cambios profundos en el ambiente acuático. La locomoción de muchos animalitos acuáticos depende de la existencia de una película de tensión superficial, sobre la superficie del agua. Otros dependen de ella en su proceso de respiración, como ya fué señalado en el Capítulo 2. La destrucción de la capacidad de formar esas películas puede llevar, pues, a consecuencias tremendamente dañinas y, generalmente, insospechadas.

El aspecto más importante, del problema de la "polución tensio-activa" es lo relacionado a la gran estabilidad bioquímica de la mayor parte de los detergentes sintéticos. Los detergentes más empleados, en la industria y en las actividades domésticas, son los de tipo aniónico, principalmente los sulfonatos derivados de alquil benzenos (ABS). Esos compuestos no son susceptibles a la acción de los microorganismos, es decir, no son biodegradables, y, por ello, después de introducidos en el agua no desaparecen, pues resisten a la autopurificación y al tratamiento biológico. Así, pueden pasar a las capas de aguas subterráneas, llegar a los pozos y dificultar la reutilización de las aguas. Alexander (33), hablando de los hidrocarburos sintéticos dice que ellos han comprometido el antiguo principio denominado "de la infalibilidad microbiológica", es decir de que cualquier compuesto orgánico puede ser degradado biológicamente. Ese principio debería ser reemplazado por otro, de que "cualquier compuesto sintetizado biológicamente puede ser degradado biológicamente". Muchos experimentos se han hecho, en el sentido de obtener detergentes biodegradables a precios comparables al del ABS. Los alcoholes sulfatados (así como los jabones comunes) son descompuestos y aprovechados como alimentos por las bacterias. Los sulfonados derivados de ésteres y amidas (y no los compuestos cíclicos, los cuales son naturalmente más estables, así como los grupos alquil de cadena ramificada) pueden ser hidrolizados, con producción de ácidos grasos biodegradables, además de otros compuestos que pueden ser o no degradados, en función de su estructura molecular (34). En Alemania, no es permitida la utilización de detergentes bioresistentes, pero los biodegradables que, hasta ahora, son producidos comercialmente, son mucho más tóxicos (principalmente a los peces y otros animales acuáticos) que el ABS. Además, no son totalmente biodegradables (sólo 80%) (35).

5.4. Polución Química.

Los desagues domiciliarios o industriales contienen grandes concentraciones de compuestos disueltos o en suspensión, los cuales, por ser indeseables o aún, perjudiciales al hombre, deben ser eliminados. Entre los compuestos inorgánicos, son preponderantes las sales de los más variados metales, tóxicos o no tóxicos. Los compuestos orgánicos están presentes desde los más complejos, como las proteínas, grasas e hidratos de carbono, en general, hasta los más simples, como la urea. Por la acción oxidante y otras actividades estabilizadoras, esos compuestos sufren cambios permanentes, tendiendo a la completa estabilidad, en forma de anhídrido carbónico y sales minerales. Todos esos compuestos, ya sea los que vienen directamente con el desague crudo, o bien los que van surgiendo durante el transcurso del proceso de estabilización (por transformación de los anteriores) pueden intervenir, de diversas maneras, en la vida de los seres vivos que normalmente habitan en el agua. Pueden ser nocivos, como los tóxicos o como los que utilizan el oxígeno disuelto; o pueden ser benéficos, como las sales que fertilizan el agua para la producción de algas. Pero la nocividad o el beneficio son siempre relativos, y dependen de los organismos considerados. Así, la ausencia de oxígeno puede ser benéfica al desarrollo de los microorganismos de respiración anaeróbica y ciertos tóxicos, como los cianuros, pueden ser nutrientes para una pequeña clase de bacterias.

5.4.1. Polución Orgánica.

La polución provocada por los compuestos orgánicos es responsable de dos clases principales de interferencias nocivas: el efecto tóxico, directo, de ciertos compuestos y el efecto indirecto, provocado por la pérdida de oxígeno en el agua. Por ambos caminos puede, la polución orgánica, alterar el ciclo biodinámico. Sin embargo, ella puede, también, ser una fuente de nutrientes necesarios a la vida acuática. Los desagues de origen doméstico poseen grandes concentraciones de compuestos nitrogenados, necesarios al metabolismo acuático: proteínas, aminoácidos y amoníaco, así como los no nitrogenados: grasa y azúcares.

Varias sustancias orgánicas son sumamente tóxicas a los organismos acuáticos. Así, por ejemplo, los alcoholes butírico y etílico como también el ácido cresílico provocan la muerte de los peces, aún en concentraciones inferiores a 1 mg/l; otros, como las anilinas o el ácido acético, sólo cuando están en concentraciones de 100 a 500 mg/l (26). Los detergentes sintéticos, además de los perjuicios que ocasionan al agua, debido a su propiedad tensio-activa, pueden ser también, tóxicos a las algas, bacterias y a un gran número de animales acuáticos, aún a los peces. Son también tóxicos los antibióticos, los productos de la destilación del petróleo, los herbicidas y los insecticidas orgánicos (36). Muchas investigaciones se han hecho para estudiar los efectos tóxicos de los hidrocarburos clorados (DDT, TDE). Algunos de ellos pueden -