



las materias orgánicas, o sea, hasta su total transformación en anhídrido carbónico y sales minerales. Hay, pues, la formación de compuestos aún oxidables, como el metano y otros. En ciertas condiciones, hay una fermentación ácida, con la producción de varios ácidos orgánicos, por la actividad de los microorganismos. La reducción del pH hace posible la formación de otros compuestos, de olor desagradable, como el hidrógeno sulfurado, los mercaptans, etc., los cuales caracterizan el llamado "ambiente séptico".

La actividad principal de los seres vivos heterótrofos es, primeramente, la de transformar los compuestos orgánicos existentes en el medio, en compuestos que ellos puedan asimilar, almacenar u oxidar. La DBO no es más que una representación del alimento disponible para esos organismo (39). Las sustancias que lo producen son transformadas químicamente por acción de las enzimas y almacenadas en forma de sustancia viva (DBO potencial) por síntesis o por reproducción de los organismos. Una parte de ese material almacenado es, todavía, oxidado, en la respiración, con liberación de energía pero consumiendo grandes cantidades de oxígeno del medio (si el proceso es anaerobio), por la reacción:



La depresión del oxígeno puede ser representada gráficamente por una curva que, en realidad, es la resultante de dos factores opuestos en su acción: a) La desoxigenación, producida por la actividad respiratoria aeróbica. Esta es proporcional a la concentración de compuestos asimilables - no oxidados que existe en un momento dado y expresado en valor de oxidabilidad bioquímica (DBO); b) La reoxigenación, producida por simple contacto con el aire atmosférico o por actividad fotosintética. Cuando la reoxigenación empieza a tornarse dominante sobre la desoxigenación, se dice que el cuerpo de agua inicia su proceso de recuperación. Se pueden reconocer, en un río en recuperación, varias etapas o zonas de auto-purificación, como verá detalladamente en el Capítulo 6. Aunque la autopurificación sea en general recordada por intermedio de la recuperación del oxígeno disuelto, ella se inicia, en realidad, con el proceso de asimilación de las materias orgánicas contenidas en el desague, cuando empieza a ser consumido el oxígeno del agua. Cada una de esas etapas de la estabilización forma un ambiente ecológico definido, que se caracteriza por albergar especies animales y vegetales seleccionadas por la composición física y química del medio.

La reacción o el comportamiento de los organismos, en presencia a la depresión del oxígeno es muy variable de uno a otro grupo o hasta de una a otra especie. Hay organismos que sólo viven en ambientes de una gran concentración de oxígeno, como los peces salmonídeos (salmones y truchas), larvas de insectos del género Simulium y otros; hay otros que son anaerobios facultativos u obligatorios (para estos últi

mos, el oxígeno libre es tóxico). Entre los dos extremos, hay toda una serie de organismos intermediarios en cuanto a sus exigencias específicas de oxígeno. Muchos de los animales que necesitan oxígeno en su respiración, pueden vivir en ambientes anaerobios por poseer mecanismos de captación del aire de la superficie; de almacenamiento del oxígeno; o para mantener burbujas de aire, en su parte ventral, como por ejemplo, el escarabajo Dytiscus, que se mantiene sumergido hasta por 36 horas sin volver a la superficie (40).

El ambiente anaerobio es, en general, tóxico, por la producción de los subproductos de la respiración anaerobia. Esos tóxicos no permiten la vida de muchas especies animales y vegetales. Las algas, por ejemplo, que disponen de producción propia de oxígeno, no viven, generalmente, en esos ambientes, quizá debido a la presencia del hidrógeno sulfurado que es un fuerte inhibidor de la fotosíntesis. Los fenómenos de selección, en esos ambientes, son muy definidos. Frecuentemente, en sitios donde hay desagües industriales, se desarrolla una flora o fauna muy numerosa, formada sólo de una o de pocas especies resistentes (además de la falta de oxígeno) a la presencia de un determinado producto sintético. El reconocimiento de estas especies es muy importante en estudios que tengan, por objeto, el desarrollo de un sistema de tratamiento adecuado a esa clase de desague (41). El soterramiento producido por la sedimentación de lodos es, también, un proceso selectivo. En esos ambientes sólo pueden vivir, en el lecho, los gusanos del tipo Tubifex, Limnodrilus y otros que pueden perforar, continuamente, las capas de fango depositadas, pasando, pues, a formar la única población existente en esos sitios. Además, la existencia de esas capas de lodo hace que la recuperación de esos cuerpos sea muy lenta, aún cuando ya no existe la causa de la polución.

Ciertas clases de desagües orgánicos pueden no producir grandes depresiones en el oxígeno disuelto, por no estar formadas de compuestos asimilables por la mayor parte de los microorganismos. En estos casos, aunque sea posible encontrar cantidades apreciables de Sphaerotilus (bacterias filamentosas de las aguas negras) y otros organismos indicadores de la presencia de materia orgánica, muchos de los seres aerobios, como los crustáceos Gammarus y larvas de insectos efemeróptera pueden ser visibles, indicando la presencia de altas concentraciones de oxígeno (5).

5.5. Polución Mineral y Eutrofización.

Los compuestos minerales que llegan hasta el agua pueden cambiar sus características ecológicas, ya sea por sus efectos tóxicos, o por el contrario, como fertilizantes. Son muy conocidos los efectos tóxicos producidos, por ejemplo, por los cianuros, así como por las sales y compuestos orgánicos de metales pesados, etc., sobre los peces. Esos elementos están presentes en varias clases de desagües industriales y también agrícolas, pues muchos de los metales pesados (como el

cobre y el zinc) son empleados para combatir a los hongos parásitos de las plantas cultivadas.

5.5.1. Metales.

Experimentos de laboratorio, realizados con la planaria Polycelis nigra (un gusano platelminto) han demostrado que los metales más tóxicos son, en orden decreciente (5): Plata, Mercurio, Cobre, Oro, Cadmio, Zinc, Níquel, Cromo, Cobalto, Aluminio, Potasio, Plomo, Manganeso, Magnesio, Calcio, Sodio, Estroncio. Es probable la existencia de una relación entre la toxicidad del metal y su capacidad de formar compuestos complejos con el protoplasma. La coagulación de las proteínas intracelulares, en presencia de metales pesados, es un hecho observado, además de otros fenómenos. Sin embargo, hay una gran variación de la resistencia a la acción tóxica de metales. La misma planaria es mucho más resistente al plomo (y puede vivir en presencia hasta de 0.1 mg/l del metal) que la mayor parte de los organismos de agua dulce, pero se muere cuando la concentración del plomo llega a 0.2 mg/l. Hay varios insectos que son, todavía más resistentes, sobreviviendo hasta a concentraciones mayores que 0.2 mg/l.

Con relación a los peces, los metales están en el siguiente orden decreciente de toxicidad (42): Mercurio, Cobre, Zinc y Cadmio; Estaño, Aluminio, Níquel y Hierro trivalente; Hierro bivalente; Bario; Manganeso, Potasio, Calcio y Magnesio; Sodio. Es pues, una secuencia muy semejante a la que se mencionó para la planaria, aunque no estén incluidos, en esta última relación, ciertos metales de gran importancia, como el Plomo y la Plata. Esos gusanos pueden ser considerados como buenos indicadores (al menos con relación a los metales) de condiciones aceptables para la vida de los peces.

Hay varios factores relacionados con la toxicidad de los metales para los organismos acuáticos. Aunque el principal responsable por la acción de un compuesto sea, casi siempre, el catión metálico, pueden haber variaciones en la intensidad de la toxicidad en función de la naturaleza química del anión. Ha sido demostrado, por ejemplo, que los nitratos de sodio y calcio son más tóxicos a los peces que los cloruros de los mismos metales (42). Además, pueden haber efectos de antagonismo y de sinergismo con varias sustancias existentes en el agua: en el caso de antagonismo, se trata de sustancias que disminuyen el efecto tóxico del metal; en el caso opuesto, de sinergismo, hay un aumento del efecto. Otros factores ambientales, como la temperatura, el oxígeno disuelto, etc., pueden hacer variar la toxicidad. La agitación, misma, del agua, producida por el burbujeo del aire, o la existencia de aire emulsionado en el agua pueden producir aumentos considerables del efecto tóxico de metales pesados, para los peces (16). El efecto de esos metales en relación a los peces no es propiamente fisiológico (en pequeñas concentraciones) sino más bien mecánico, pues producen la coagulación del mucílago de las branquias, no permitiendo el intercambio de oxígeno y anhídrido carbónico con el ambiente. La agitación permite mayor facilidad

dad adhesiva entre las partículas, facilitando extraordinariamente la coagulación. El pez muere por asfixia.

Los siguientes elementos son los más responsables por intoxicaciones de organismos acuáticos:

5.5.1.1. Plomo.

En las zonas mineras con frecuencia el plomo, es llevado a los ríos o riachuelos por las lluvias. Según ciertos autores, los peces son sensibles a concentraciones de 0.1 a 0.4 mg/l del metal. Pero otros han demostrado ser resistentes, en condiciones de laboratorio, hasta a 10 mg/l ó más. Esas contradicciones se deben, posiblemente, a las condiciones de experimento, principalmente con relación a los factores físicos (agitación) arriba señalados. Las aguas de los ríos están sujetas a constante turbulencia que, en el laboratorio puede no existir. Además, hay variaciones de la resistencia en distintas especies de peces. Con otros organismos acuáticos se ha observado (5) que la presencia de este metal (como de otros metales pesados) en concentraciones superiores a 0.3 mg/l produce una gran disminución en las poblaciones naturales acuáticas. Los peces son los más sensibles, pero, después que éstos desaparecen, empiezan a desaparecer, también, los otros. Con la elevación de la concentración, se mueren, sucesivamente: los moluscos y los crustáceos malacostraca; después, los gusanos oligoquetos, las sanguijuelas y los insectos tricóptera. Los que permanecen son, solamente: ciertas especies de insectos, como por ejemplo el Tanytus nebulosus (quironomidae) el Simulium latipes (simulidae), el Cloeon simile (eferoptera), Velia currens y Sigara minutissima (hemiptera); algunos crustáceos entomostraca y ciertas planarias. La vegetación queda reducida a Batrachospermum y Lemanea (algas rojas). Las larvas de Tanytus nebulosus y Cloeon simile son las formas animales más resistentes y soportan concentraciones hasta de 6 mg/l de plomo.

5.5.1.2. Cobre.

Los compuestos de cobre son muy empleados en el control de algas, así como de los moluscos transmisores del parásito Schistosoma, agente de la billarziasis en el hombre. Además el sulfato de cobre, o su combinación con la cal, es utilizado en la agricultura, para el control de hongos y larvas de insectos parásitos de plantas de cultivo. Estos compuestos, muy solubles, pueden ser llevados por las lluvias a los ríos o riachuelos provocando la muerte de seres acuáticos. En las zonas mineras de cobre (en la Cordillera Andina, por ejemplo), los depósitos de materiales rocosos no utilizables (con gran contenido de cobre no aprovechable) están sujetos a la acción solubilizadora de las aguas de lluvias que arrastran el metal hasta los ríos.

Los efectos generales producidos por el cobre, en las poblaciones acuáticas son semejantes a los producidos por el plomo. En general se observa una gran reducción de esas poblaciones, por la acción tóxica del metal. Los peces pueden

soportar concentraciones de 0.1 a 0.8 mg/l de sulfato de cobre ($\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$) o sea, aproximadamente 0.025 a 0.2 mg/l del catión cobre, en condiciones naturales. Para muchas especies de peces, el límite de seguridad, tolerable, es de: 4.0 mg/l de sulfato de cobre (1.0 mg/l de cobre) (42). Pero este límite no es aceptable a todas las especies. Varias especies, como por ejemplo las carpas y algunas truchas se mueren con 0.7 a 0.8 mg/l de sulfato de cobre. Sin embargo, las concentraciones letales dependen mucho de las características físicas (como la turbulencia del agua (16)) y químicas, del medio. El contenido de carbonatos, de materia orgánica y también la temperatura pueden intervenir mucho en la solubilidad de los compuestos de cobre. En aguas duras, por ejemplo, hay formación de carbonato de cobre insoluble, el cual se precipita en el fondo y eso produce una reducción de la concentración tóxica en el agua. Pero el cobre insoluble sedimentado puede ser ingerido por pequeños animales, como larvas de insectos, o directamente por los peces que se alimentan del fango y, de esta manera, producir también intoxicaciones.

Los hongos y también las algas, son muy sensibles a la acción tóxica del cobre. Los animales microscópicos son, en general, menos sensibles que los peces. Asimismo, desaparecen totalmente cuando la concentración es superior a 1.0 mg/l en cobre (5). La acción letal de este metal sobre los peces se debe, como en el caso del plomo y otros metales pesados, a la asfixia provocada por la coagulación del mucílago de las branquias.

5.5.1.3. Zinc.

Son bien conocidos los efectos causados por el zinc sobre los peces y ciertos géneros de algas. Todavía, se conoce poco de su acción sobre otros seres acuáticos. Es muy frecuente la muerte de los peces en acuarios o en criaderos de peces, provocada por el zinc de los tubos de hierro galvanizado. El fenómeno está, además, correlacionado con la agitación del agua o la presencia de aire emulsionado (16).

5.5.2. Otros tóxicos. Aniones.

Además de los iones muchos aniones y compuestos orgánicos son tóxicos a los organismos acuáticos. Todas las sales, cuando están en altas concentraciones son nocivas debido a la presión osmótica que producen. Otros compuestos producen cambios del pH. Otros retiran el oxígeno del ambiente (o aún del medio interno del organismo) y producen asfixia.

En experimentos realizados con la planaria Polycelis nigra, se comprobó que los aniones más importantes, en orden de creciente de su toxicidad a los animales de agua dulce, son (5): OH; S; NO_2 y CN; Fe (CN)₆ y Fe (CN)₅; NO; F; IO_3 ; CrO_3 ; AsO_4 ; CNS y C_2O_4 ; Citrato; BrO_3 ; PO_4 y PO_3 ; I y NO_3 ; SO_2 y SO_3 ; S_2O_3 ; Tartarato; CO_3 ; ClO_3 ; Acetato y Br; Cl. Hay además, muchas informaciones sobre los efectos de los cianuros en relación a los peces, pues éstos son compuestos fre-