

co denominados branquias. Muchos insectos adultos o en estado de larvas no son capaces de tomar el oxígeno disuelto en el agua y tienen órganos especiales en forma de tubos más o menos largos (de acuerdo al nivel en que viven) y elásticos que les permiten respirar el aire atmosférico. Un mecanismo muy interesante es el que tienen algunos escarabajos y hemípteros acuáticos que poseen una superficie ventral "no mojable" donde están situados los orificios respiratorios. Salen a la superficie del agua, exponen la región ventral al aire llenándola con una gran burbuja de aire y en seguida se sumergen nuevamente. Posteriormente, a medida que van utilizando el oxígeno devuelven en su lugar anhídrido carbónico al interior de la burbuja la cual contiene además nitrógeno y gases raros. Así, cada vez más, el aire contenido en la burbuja se irá enriqueciendo en anhídrido carbónico, estableciéndose una diferencia de presiones parciales entre este gas y el medio acuático, el cual a su vez se encuentra más rico en oxígeno. Como consecuencia de ese estado hay un intercambio de los dos gases a través de la interface aire-agua. De ese modo, ese verdadero "pulmón" constituido por la burbuja de aire renueva su concentración de oxígeno eliminando el anhídrido carbónico al medio y manteniéndose prácticamente constante y disminuyendo lentamente sólo por disolución progresiva del contenido de nitrógeno, lo que obliga al animal a la renovación periódica.

Como ya se dijo anteriormente, la cantidad de oxígeno disponible en un río o lago sufre grandes reducciones con la introducción de materia orgánica, siendo por ese motivo muy pobres en ese gas las aguas que reciben una fuerte descarga de desagues. La oxidación de la materia orgánica se realiza gracias a la acción catalizadora de innumerables microorganismos, entre los que predominan las bacterias aerobias, y ese proceso requiere una cierta cantidad de oxígeno. Este asunto se discutirá con mayor detalle en el Capítulo 6.

La expresión Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) que se emplea para representar el valor de la polución producida por la materia orgánica biológicamente oxidable, corresponde a la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos de los desagues o aguas polucionadas durante el proceso de la oxidación biológica, en una muestra dada que ha sido mantenida a una temperatura determinada y por un espacio de tiempo establecido.

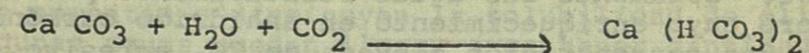
Esa demanda puede llegar a ser tan grande que se consuma todo el Oxígeno Disuelto (OD) del agua lo que provocaría muerte de todos los organismos aerobios de respiración sub-acuática. Entonces, en esas regiones se desarrollaría una fauna característica constituida por animales capaces de utilizar el oxígeno combinado además de otros (sobre todo larvas de insectos) que provisto de tubos respiran el aire atmosférico a través de la superficie. La presencia de desagues en un agua afecta también a la flora fotosintetizante, más la reducción que ella sufre no solamente es debido a la ausencia de oxígeno durante la noche, sino principalmente a la presencia de sustancias tóxicas y a la poca penetrabilidad de la luz solar en esas aguas que generalmente son de color oscuro.

2.3.2.1.2. Anhídrido Carbónico y Concentración de Hidrógeno.

La distribución de anhídrido carbónico en un cuerpo de agua es exactamente opuesta a la del oxígeno ya que ambos gases tienen la gradiente determinada por la misma acción biológica. Si se considera la estratificación que existe en un lago, como la diferencia de iluminación entre la región superficial y las regiones profundas, se verá que existen dos regiones características en dichos cuerpos de agua: una zona trofógena, superficial, en la que hay una gran producción de oxígeno por medio de la fotosíntesis; otra más profunda, trofolítica, rica en sustancias que precipitan y caracterizada por la presencia de gran cantidad de organismos animales y bacterias heterotróficas que consumen materia orgánica y oxígeno y enriqueciendo el medio en anhídrido carbónico. Ese anhídrido carbónico producido en las regiones profundas no se pierde porque no puede atravesar la termoclina y permanece en estado libre o combinado, mientras que el oxígeno formado en la superficie es capa hacia la atmósfera con la cual está en contacto. Se realizan intercambios de oxígeno entre el aire y el agua en los que esta última funciona como productora (durante el día) o bien como receptora (durante la noche cuando predominan las actividades respiratorias dentro del cuerpo de agua) de oxígeno.

El anhídrido carbónico es de importancia fundamental para el metabolismo de las algas y de otros organismos vegetales fotosintetizantes. Su presencia en un cuerpo de agua se debe sobre todo a las aguas de lluvia que lo reciben en pequeñas cantidades del aire atmosférico (en zonas industriales) y en mayor cantidad del humus, constituido de materia orgánica en descomposición, de los suelos que atraviesa. También constituye una fuente importante de anhídrido carbónico la misma materia orgánica que en el interior del agua es consumida y oxidada por la actividad metabólica de los organismos heterotróficos.

El anhídrido carbónico al llegar al agua se combina con ella formando un ácido débil, el ácido carbónico. Sin embargo, si el agua fuera rica en carbonatos -sobre todo carbonato de calcio, como sucede cuando las aguas recorren regiones calcáreas- el anhídrido carbónico se combina con dichas sales transformándolas en bicarbonatos que, al contrario de los primeros, son solubles. La reacción es como sigue:



De esta manera en un agua, la presencia de bicarbonatos en solución o de carbonatos precipitados depende de la mayor o menor cantidad de anhídrido carbónico presente en el medio. Por ejemplo, ocurre con frecuencia el fenómeno geológico que consiste en la precipitación mucho más intensiva de material calcáreo durante los períodos de verano que de invierno, como resultado del hecho de que el anhídrido carbónico es mucho menos soluble en aguas calientes que en las frías y se escapa -

en el verano sin permitir la solubilización de los carbonatos que entonces precipitan. Un fenómeno de idéntica naturaleza ocurre todos los días en las tuberías de agua caliente en las residencias, las cuales son obstruidas por la precipitación de carbonato de calcio, mientras que en las tuberías de agua fría, éste se mantiene en solución formando bicarbonatos, gracias a la mayor concentración de anhídrido carbónico.

Sin embargo, el anhídrido carbónico nunca es consumido totalmente en la reacción con los carbonatos. Aún cuando hay un exceso de esa sal, hay presencia de una cierta cantidad de anhídrido carbónico, denominada anhídrido carbónico de equilibrio, y es responsable por la proporción estable de bicarbonatos que hay en el agua. Si por cualquier proceso se extraese el anhídrido carbónico del agua, parte de los bicarbonatos presentes se convierten en carbonatos liberando una cantidad equivalente de anhídrido carbónico. Sin embargo, cuando todo el carbonato presente se ha transformado en bicarbonatos, además de la fracción de equilibrio, puede haber un exceso de anhídrido carbónico libre, denominado anhídrido carbónico agresivo, que puede reaccionar con nuevas cantidades de carbonatos que se agregan al medio.

El anhídrido carbónico agresivo se combina parcialmente con el agua para formar ácido carbónico y es el principal responsable de su acidez. La solubilización del CO_2 de la atmósfera ya es suficiente para producir en las gotas de lluvia antes de que caigan al suelo, un pH sensiblemente bajo, el que se reduce aún más durante el recorrido que hace el agua de lluvia a través del suelo y entrar en contacto con la actividad de los microorganismos productores de humus en el proceso de la oxidación orgánica. Al llegar esta agua a un cuerpo de agua puede tener un pH de 4 ó 5. Sin embargo, esa situación resulta grandemente alterada dentro del cuerpo de agua donde intervienen muchos otros factores, sobre todo en aguas carbonatadas en las que el pH es determinado por la relación que hay entre el CO_2 y los carbonatos, o mejor, por la relación que hay entre los iones H que resultan de la disociación del H_2CO_3 y los iones OH provenientes de la hidrólisis de los bicarbonatos. En esas condiciones se produce el efecto tampón de la mezcla carbonatos-ácido carbónico, el cual dificulta la posibilidad de fluctuación del pH más allá de límites más o menos estrechos. Solamente las aguas relativamente pobres en carbonatos, pero cuyo enriquecimiento en anhídrido carbónico puede llevar a una concentración elevada de CO_2 agresivo, llegan a tener un pH inferior a 6.

El efecto tampón es muy importante desde el punto de vista ecológico. Todos los líquidos existentes dentro de los organismos vivos son "tamponados". Así, por ejemplo, en la sangre existe un tampón carbonato y en la orina un tampón fosfático. Esto porque los organismos en general son sensibles a las grandes variaciones del pH, ya sea del medio interno o del externo. Las aguas pobremente tamponadas pueden volverse ácidas debido a un enriquecimiento en CO_2 , o alcalinas cuando hay una reproducción intensa de los vegetales por fotosíntesis y en

la que consumen gran cantidad de CO_2 . Las algas por ejemplo, muchas veces a pesar de exigir un ambiente caracterizado por variaciones del pH entre límites muy estrechos, en ciertas aguas, pueden ser capaces de producir una alteración del pH más allá de esos límites lo que resulta en perjuicio de su propia especie. Esos organismos fotosintetizantes utilizan el CO_2 agresivo mientras éste existe y luego pasan a consumir el CO_2 de equilibrio de lo que resulta la precipitación de carbonatos insolubles.

2.3.2.2. Sales Minerales.

La cantidad específica de las diferentes sales minerales que existen en solución en las aguas dulces tiene mucha mayor influencia en la vida de los organismos vegetales que en las de los animales. En efecto, los organismos autotróficos para realizar la síntesis de las moléculas de los compuestos orgánicos complejos, además del carbono que obtienen del anhídrido carbónico y el oxígeno e hidrógeno del agua, necesitan varios otros elementos en cantidades pequeñísimas y que se encuentran en el ambiente bajo la forma de sales minerales. El nitrógeno, fósforo, azufre, magnesio, potasio, calcio y hierro son muy conocidos como elementos esenciales para el crecimiento de los vegetales. Sin embargo, recientemente se ha comprobado que un gran número de otros elementos que son absolutamente indispensables para el metabolismo vegetal no eran considerados anteriormente debido a las cantidades tan diminutas en que son requeridos. Generalmente, todas las aguas contienen esas cantidades, inclusive el agua destilada obtenida en el laboratorio por los métodos y equipo corrientes. Estos elementos son considerados como micronutrientes en oposición a los macro o meganutrientes que son los diez nombrados más arriba. En un medio de cultivo, para suministrar a las algas todos los micronutrientes indispensables se acostumbra agregar a la solución preparada con porcentajes determinados de las sales de los distintos elementos macronutritivos, una pequeña porción de tierra fértil o de un extracto de ella.

Las aguas dulces contienen normalmente en forma de solución: carbonatos, sulfatos, cloruros, silicatos, nitratos y fosfatos de calcio, magnesio, sodio, potasio y hierro en diferentes proporciones que dependen de la naturaleza geológica de los terrenos adyacentes, de la materia orgánica arrojada al agua y además de otros factores indirectos como son la temperatura, cantidad de anhídrido carbónico o de oxígeno, etc, que aumentan o disminuyen la solubilidad de ellos en el agua. Algunas aguas pueden llegar a contener cantidades muy elevadas de algunas sales mientras que de otras muy poco. Se puede citar algunos ejemplos de abundancia como: boratos (lagos de California y varias otras regiones del mundo en donde se cristaliza el borax en las márgenes y es explotado comercialmente); sulfuros (muy frecuente en las aguas de fuentes termales); carbonatos (en las aguas "duras" de los terrenos calcáreos) y cloruros (como ocurre en innumerables lagos en terrenos salinos en todo el mundo). En esos casos, la elevada concentración de sales puede dar origen a una selección de los organismos acuáticos mediante el factor osmótico. De todos

los elementos minerales, los que generalmente existen en cantidades inferiores al óptimo requerido para el desarrollo de las algas son los nitratos y los fosfatos. Por esta razón las aguas naturales contienen, por lo general, pequeña densidad de algas a no ser de que reciban una descarga de materia orgánica, cuya oxidación dé origen a concentraciones más elevadas de esas sales.

Las sales minerales, especialmente las dos últimas que se han mencionado, merecen atención particular de parte de los ingenieros sanitarios. El objetivo del proyectista u operador de una planta de tratamiento de agua debe ser la reducción de ellos en una fuente de abastecimiento para no correr el riesgo de tener problemas futuros debido a la proliferación excesiva de organismos nocivos.

2.3.2.2.1. Compuestos de Nitrógeno.

Las aguas naturales en general contienen nitratos en solución y también, sobre todo si se trata de aguas que reciben desagües, pueden contener cantidades variables de compuestos más complejos, o menos oxidados, tales como: compuestos orgánicos cuaternarios, amoníaco y nitritos. En general, la presencia de éstos indica una polución reciente, porque esas sustancias son oxidadas rápidamente en el agua por acción de las bacterias nitrificantes (ver los Capítulos 1 y 6). Por esa razón constituyen un índice importante de la presencia de desechos orgánicos recientes. Ciertas algas del grupo de las xantofíceas y algunas bacterias son capaces de reducir los nitratos, llegando a producir concentraciones bastante elevadas de nitritos en volúmenes pequeños de agua, como sucede en las pozas o charcos donde ellas proliferan en gran abundancia.

Sin embargo, no son éstas las únicas fuentes de compuestos nitrogenados. La propia agua de lluvia trae consigo, en solución, pequeñas cantidades de amoníaco o de ácido nítrico que recibe al atravesar la atmósfera, ya sea de las descargas eléctricas que permiten la combinación del nitrógeno del aire con el hidrógeno para formar amoníaco o sea del humo de las industrias que polucionan la atmósfera. Esa agua es todavía más enriquecida con esos compuestos, al atravesar el suelo donde proliferan bacterias nitrificantes las cuales transforman el amoníaco en nitritos y nitratos. Finalmente, según parece haberse demostrado suficientemente, la fijación del nitrógeno en el agua se realiza gracias a la actividad bacteriana y a la de algunos géneros de algas cianofíceas (la Anabaena, por ejemplo) (16).

El nitrógeno es un elemento de importancia fundamental para la vida de los organismos vivos ya que forma parte integrante de la molécula de proteína y por consiguiente del protoplasma. Por otro lado, constituye uno de los factores limitativos más importantes para la vida de los microorganismos de agua dulce. La importancia preponderante de ciertas sustancias nutritivas, tales como el nitrógeno y el fósforo en comparación con los otros elementos se puede deducir de la relación que

existe entre los referidos elementos y los otros constituyentes de la célula viva y las proporciones en las que se encuentran en el medio acuático (29). En efecto, se puede comprobar que a pesar de que esos dos elementos existen en cantidades predominantes en el protoplasma, en las aguas dulces en general son muy escasos, lo que quiere decir que el organismo tiene dificultad en obtenerlos del medio. Aunque la tendencia general sea la de admitir que entre los dos elementos, el fósforo es el más importante ecológicamente, algunos trabajos recientes demuestran que en ciertas aguas enriquecidas con desechos orgánicos, el nitrógeno es el elemento limitativo para el desarrollo de las algas del género Microcystis (ver el Capítulo 5). Desde el punto de vista de la Ingeniería Sanitaria una conclusión importante que resulta del hecho de ser el nitrógeno un factor limitativo es que el incremento de éste en un agua cualquiera trae como consecuencia el aumento de la proliferación de microorganismos.

2.3.2.2.2. Compuestos de Fósforo.

Los compuestos de fósforo también entran en la composición de las aguas naturales en cantidades muy pequeñas, generalmente. Este elemento constituye un componente importante de la sustancia viva, especialmente de las núcleo-proteínas (esenciales para las funciones reproductivas de la célula) además de estar ligado al metabolismo respiratorio o fotosintético. Siendo así, es uno de los factores limitativos más importantes para la vida de los organismos acuáticos y para su propia economía. En un cuerpo de agua es de importancia fundamental para el control ecológico de las algas.

Los desechos orgánicos, sobre todo los desagües domésticos así como algunos tipos de desechos industriales pueden enriquecer las aguas en este elemento. El empleo cada vez mayor que se hace de ciertos tipos de detergentes de uso doméstico e industrial contribuye en mucho al incremento del fósforo en los desechos.

Otras causas que pueden contribuir al enriquecimiento de una fuente de agua en fósforo son algunos minerales fosfáticos denominados apatitas y pequeñas cantidades de fosfatos inorgánicos del suelo, que sin embargo, no son fácilmente arrastrados por las aguas de lluvia debido a que tienen una gran avidez por los otros constituyentes del propio suelo. Se conoce todavía poco con respecto a las bacterias capaces de reducir fosfatos a fosfitos, hipofosfitos y fosfina, a pesar de que ya se ha comprobado su existencia (2).

En aguas ricas en hierro el fósforo puede precipitarse bajo la forma de fosfato ferroso, insoluble cuando hay un gran contenido de oxígeno, conjuntamente con el hidróxido férrico que se forma en las mismas condiciones. Por lo tanto, puede haber una reducción considerable del contenido de fósforo en un agua, como resultado de la oxigenación de la misma.