

principal responsable de la calidad de la luz a una profundidad determinada. El agua pura, por sí misma, también ejerce una cierta acción selectiva como ya se ha dicho en páginas anteriores. Absorbe aproximadamente el 90% o más de las radiaciones con longitudes de onda entre 7,400 y 8,000 Å, llegando a un mínimo de absorción (el 1% o menos) para longitudes de onda cercanas a los 5,000 Å. Por consiguiente, prácticamente toda la absorción que se verifica en el agua de un lago de las ondas luminosas situadas en el extremo azul del espectro, se debe a la presencia de sustancias de color en el medio. Cuando el color del agua de un lago es de aproximadamente 30 unidades de color, la absorción de las radiaciones de 4,000 Å puede alcanzar el 100%; la absorción casi total (90%) de las ondas de 3,650 Å puede verificarse con 10 o más unidades de color (17). Sin embargo, el poder de absorción decrece rápidamente cuando se trata de ondas de mayor longitud. Estos hechos pueden tener un significado ecológico; así, la calidad de la luz existente en una fuente de agua o a una profundidad determinada puede ejercer papel selectivo sobre las especies de organismos fotosintetizantes que pueden vivir en ella, de acuerdo a su capacidad para poder utilizar radiaciones con mayor o menor longitud de onda.

La naturaleza físico-química de los elementos responsables del color del agua todavía es materia de polémica. Clásicamente, se considera que el color del agua se debe a los compuestos en solución que ella contiene. James y Birge (17) hablan de un "color coloidal", refiriéndose a esa porción del color del agua que se puede eliminar por filtración en filtros Berkefeld, dando a entender que esa porción está asociada a coloides.

Últimos trabajos realizados (19) en los que se han empleado métodos tales como: la diálisis a través de membranas semipermeables (celofán con poros de 4.8 µ; colodión con 3.5 µ, etc.) y la medición de la dispersión de la luz han revelado que el color de las aguas es producido por la presencia de partículas coloidales que tienen el diámetro entre 3.5 y 10 µ. La medición de la dispersión de la luz provocada por esas partículas, además de confirmar su naturaleza coloidal permitió comprobar que su tamaño varía en función del pH. Así, en un medio ácido son más grandes y menos numerosos que en una solución básica y es debido a ello que la relación de dispersión de la luz en este tipo de medio, disminuye cuando se eleva la intensidad de la misma. Este dato confirma el hecho muy conocido y mencionado también por James y Birge de que el color tiene acción indicadora del pH, siendo aquel más intenso cuando éste es más elevado (el color para el pH=10 es prácticamente dos veces mayor que para el pH = 2). Dichos experimentos comprueban, asimismo, que el color de las aguas es un fenómeno debido más bien a la dispersión de la luz y a la fluorescencia que a la simple absorción molecular de la energía luminosa.

El color de las aguas naturales se debe generalmente a los productos de la descomposición de la materia orgánica contenida en la fuente misma o al humus de los suelos adyacentes. Siendo

esto así, hay una relación cuantitativa entre el color y el carbono orgánico presente en el agua (17). El agua colorada contiene ácidos fúlvicos que constituyen la fracción más soluble del humus natural de los suelos y por esa razón se encuentran en el agua en mayor proporción que los demás componentes del humus, como son los ácidos húmico e himatomelánico. Por otro lado, Shapiro (20) basándose en análisis de espectroscopía infra-roja y ultra-violeta, cree que no se trata de ácidos derivados del humus del suelo, a pesar de la semejanza estructural que tienen con ellos, sino de otros que él ha denominado "humolímnicos", a esos "ácidos amarillos del agua". Según este autor, se trata de ácidos alifáticos no saturados polihidroxidicarboxílicos, con peso molecular aproximado de 456, peso que es bastante inferior al de las sustancias húmicas del suelo.

La polución puede afectar las propiedades ópticas de una fuente de agua debido a que puede aumentar el color y la turbidez. Sobre todo ciertos tipos de desechos industriales pueden incrementar mucho el color de un curso de agua, como por ejemplo, los desechos de industrias textiles, curtiembres (el tanino arrojado tiene un color muy acentuado, ya sea esté puro o combinado con el fierro natural del agua), etc. Un aumento apreciable de la turbidez ocurre siempre que haya polución debida a desagües domésticos o a varios otros tipos de desagües. Otras actividades humanas también pueden incidir para aumentar la turbidez y el color de los cursos de agua: irrigación de tierras destinadas a la agricultura, dragado de arena, quema de matorrales, etc.

En general, siempre que ocurre una disminución en la velocidad de un curso de agua, hay una tendencia hacia la disminución de la turbidez y del color en cierto grado, por sedimentación. Así, el represamiento de un río con elevada turbidez y color que prácticamente no permite la vida autotrófica puede mediante la reducción de esos factores crear condiciones apropiadas de luminosidad que permitan el desarrollo de una abundante flora clorofilada, desarrollo que estaría limitado tan sólo por los factores químicos (21) (22). Además del efecto óptico, la presencia del material en suspensión puede tener consecuencias más directas, nocivas para los microorganismos puesto que se adhieren a su superficie y los arrastra hacia el fondo (23).

#### 2.3.1.4. Propiedades Debidas a la Absorción de los Rayos Solares. Variaciones de Temperatura. Estratificación Térmica.

El estudio de las reacciones energéticas, y entre ellas las variaciones térmicas, que se verifican en una masa de agua desde el punto de vista del aprovechamiento de esas fuentes de energía por los microorganismos que la pueblan constituye sin lugar a dudas el capítulo más importante de la ecología. La transformación de energía dispersas o desordenadas en energía útil para la producción de trabajo es realizada con

un máximo de rendimiento por los organismos vivos o por el cuerpo de agua y los organismos cuando se les considera como un sistema transformador de energía en trabajo. Por otro lado, se sabe que la energía bajo la forma de calor constituye uno de los más importantes reguladores de los procesos vitales. La ley de Van't Hoff dice que la velocidad de las reacciones químicas aumenta de 2 a 3 veces siempre que se eleva la temperatura en 10°C. En gran parte, los fenómenos de fisiología celular son fenómenos de naturaleza química o físico-química luego, todos los procesos vitales que se realizan en un organismo son, dentro de ciertos límites, activados por la elevación de la temperatura. Al respecto existen dos formas de comportamiento característicos de dos tipos de organismos en la naturaleza. Algunos animales, llamados Homeotermos (aves y mamíferos) son capaces de mantener en su interior una temperatura constante, gracias a un dispositivo termostático que les permite aumentar la combustión de sustancias orgánicas con mayor consumo de oxígeno y producción de calor, siempre que su temperatura tienda a bajar; y a intensificar la transpiración (o evaporación fisiológica del agua a través de la superficie del cuerpo con el consiguiente consumo de calor la tiente de evaporación), cuando la temperatura tiende a elevarse demasiado. Los otros animales, denominados Poiquilotermos y todos los vegetales no tienen esa capacidad de regulación y por lo tanto la velocidad o intensidad de sus reacciones orgánicas está estrictamente limitada por la temperatura del medio ambiente, siendo mayor cuando ésta aumenta y disminuyendo a veces a niveles bajísimos cuando la temperatura del medio baja.

Casi la totalidad de los organismos acuáticos pertenece al segundo grupo, sin embargo, debido al calor específico del agua que es muy alto, dichos organismos no están sujetos a variaciones tan frecuentes de temperatura y por lo tanto de actividad orgánica, como lo están los organismos terrestres de comportamiento poiquilotérmico. En efecto, pocas son las sustancias que tienen mayor calor específico que el agua. Como consecuencia de este hecho, el clima acuático es mucho más estable que el clima atmosférico.

La mayor parte de las energías que producen calor en un cuerpo de agua proviene de las radiaciones solares. Además, la condensación del vapor sobre la superficie del agua puede, en ciertas circunstancias, proporcionar grandes cantidades de calor y los lagos o ríos alimentados por fuentes termales reciben una importante contribución del calor terrestre. Gran parte de ese calor recibido se pierde por radiación y por el fenómeno de la evaporación que consume cantidades apreciables de energía. También, se pierde una parte por conducción al fondo. Lo restante es responsable de la temperatura del agua, así como del movimiento interno del cuerpo de agua que se lleva a cabo en determinadas estaciones y que resulta de las variaciones de la densidad provocadas por el calentamiento o enfriamiento del agua (10).

La diferencia de temperatura que hay entre la capa de

aire que se halla en contacto inmediato con la superficie del agua y el cuerpo de agua mismo, constituye una condición necesaria y suficiente para que se lleve a cabo un intercambio de calor entre ellos.

La capacidad de penetración de las radiaciones en un medio acuático no sólo depende de la energía solar, sino también de la cantidad de material pigmentado que contiene el cuerpo de agua y que ofrece resistencia a esa penetración (24). Las partículas que existen en suspensión absorben la mayor parte de las radiaciones transformando su energía en energía calorífica de tal manera que, especialmente en aguas turbias, solamente las capas muy superficiales son afectadas directamente por las radiaciones solares alterando su temperatura. Así, en el agua destilada (que tiene un grado máximo de transparencia) se observa lo siguiente: si se emplea radiaciones de gran capacidad de penetración como son las de color verde-azulado (500 m $\mu$ ), aproximadamente el 29% de esas radiaciones quedan retenidas en los primeros 30 cm. de profundidad, lo que corresponde a una retención del 97% en los primeros tres metros. Si se considera que gran parte de la energía solar es emitida bajo la forma de radiaciones de 1 $\mu$  ó más y que los cuerpos naturales de agua nunca dejan de tener sustancias coloreadas o turbidez, es fácil comprender que las regiones muy superficiales son las únicas que pueden ser térmicamente afectadas por la absorción directa de las radiaciones solares. La transferencia de calor de estas regiones hacia las capas más profundas se realiza principalmente por movimientos de circulación provocados por la diferencia de densidades entre las regiones con temperaturas diferentes o por la acción mixturadora del viento sobre la superficie del agua, o bien por la corriente como en el caso de los ríos. La transmisión del calor en el agua, por conducción, es sumamente lenta igual que en el aire pudiendo desprejarse su papel en los fenómenos térmicos que se observan en los cuerpos de agua.

En la práctica, se ha comprobado que cerca del 99% de la radiación total que llega al agua es absorbida en los primeros diez metros de profundidad (10). Siendo esto así, no se observa gran variación de temperatura en la capa superior de un lago, pero a partir de los 12 metros de profundidad disminuye rápidamente. Sabiendo que las variaciones de temperatura implican grandes alteraciones en la densidad del agua, es perfectamente aceptable la razón de ser de las capas o estratos muy estables, que se encuentran con frecuencia en los lagos con profundidades superiores a los 12 metros. Aunque existen muy pocos estudios al respecto en lagos de clima subtropical, los trabajos de Kleerekoper (25), ya antiguos, indican la existencia de tal estratificación aún en lagos de relativamente pequeña profundidad, como es la Represa de Guarapiranga en Sao Paulo, Brasil. Sin embargo, tales estudios no han sido confirmados y Wright (26) que hizo trabajos de investigación casi al mismo tiempo y en las mismas aguas, aunque no con la misma intensidad, no cree en la estabilidad de esa estratificación.

La primera capa o región de un lago estratificado, es decir, aquellas que está comprendida entre la superficie y los 10 metros de profundidad aproximadamente, recibe el nombre de epilimnio; la capa intermedia en la cual se produce una caída brusca de la temperatura se denomina termoclina, capa de discontinuidad o metalimnio; la capa inferior, situada por debajo de los 20 metros y donde las variaciones de temperatura son muy pequeñas, se llama hipolimnio. La última capa llega a acumular una cantidad considerable de calor puesto que no puede entregarlo al aire, y gracias a ello, no tiene una gradiente de temperatura muy elevada.

La distribución del calor entre las diferentes capas de un lago no se realiza por simple absorción de las radiaciones, sino gracias al impulso de las moléculas del agua a lo largo de la superficie generado por el viento y que origina una circulación dentro del volumen de agua. Entonces, ¿cómo explicar el hecho de que las capas no se mezclan entre sí, uniformizando la temperatura en todo el lago? La presión del viento, tangente a la superficie del lago, hace que las partículas del agua se deslicen sobre dicha superficie, siguiendo el sentido del viento, hasta llegar a la orilla opuesta. Allí las partículas chocan con el borde y descienden hacia el fondo del lago. Si más abajo existe una capa más fría, ésta funciona como una verdadera barrera física que impide el movimiento de descenso de las moléculas debido a que el agua más fría tiene una densidad mayor, ofreciendo así una gran resistencia a la mezcla. Por este motivo, las partículas de la capa superior regresan en sentido contrario hacia la otra orilla deslizándose sobre la capa más densa y sin llegar a calentarla.

Este fenómeno, como es fácil comprender, no se realiza de la misma manera durante todo el año. En las estaciones en que la temperatura es elevada el calor puede ir, poco a poco, llegando hasta las capas más profundas del lago de tal manera que va eliminando o haciendo menos pronunciadas las diferencias de densidad. Entonces la capa que constituye la termoclina también dejará, poco a poco, de ofrecer resistencia física a la mezcla ayudando así a que las regiones profundas se calienten más rápidamente hasta que se establece una circulación total de todo el líquido. Luego las moléculas de la superficie impulsadas por el viento, al llegar a la orilla, bajan hacia el fondo del lago sin encontrar obstáculo y de allí vuelven en sentido contrario deslizándose sobre el fondo hasta la orilla opuesta de donde suben a la superficie. En un lago de clima templado, el ciclo anual de temperatura se realiza de la siguiente forma:

Circulación Total de Primavera. Al comenzar la primavera en las regiones de clima templado, después del deshielo de la superficie de los lagos, hay una elevación de la temperatura en todo el cuerpo de agua pero ésta no llega a pasar de los 4°C. En esa etapa la llamada estabilidad de estratificación del lago es igual a cero, lo que significa que cualquier indicio de la formación de capas de diferentes densidades es destruido por los vientos, aún por los de poca intensidad. Ade-

más del viento que provoca la mezcla, se debe recordar que al calentarse las capas superiores (de 0 °C) su densidad aumenta y tienden a descender hacia el fondo. Por ejemplo, si el calentamiento superficial llegase hasta los 4°C, esa capa descendería hasta el fondo provocando una revolución de todas las capas y por lo tanto la uniformización de la temperatura en todo el lago. Así, habría una mezcla total del agua y la temperatura permanecería uniforme. A medida que la temperatura atmosférica se eleva también hay un aumento gradual en todo el cuerpo de agua, gracias al movimiento producido por la acción de los vientos. Evidentemente, en regiones donde los vientos son más fuertes y frecuentes todo el lago alcanzará temperaturas más elevadas, resistiendo así a la estratificación con mayor probabilidad que en las regiones donde hay pocos vientos.

Estacamiento de Verano. Como resultado de la elevación más acentuada de la temperatura atmosférica en el verano, hay un calentamiento progresivo de la superficie de las aguas (sobre todo si no hay vientos fuertes) que hace que éstas adquieran rápidamente una temperatura sensiblemente superior a la de las regiones más profundas. Una vez que esto se realiza ya no es posible la mezcla de las capas de diferentes densidades y la circulación se lleva a cabo sólo en la región superior. Así se establece la termoclina, cuya posición no es muy bien definida al comienzo del verano, pero más tarde se estabiliza cerca al centro de gravedad del lago, dando entonces un máximo de estabilidad de estratificación al agua. La temperatura de la capa más profunda del lago puede variar de acuerdo a las condiciones iniciales del proceso. Así por ejemplo, si en la fase final del período de circulación de primavera sopla mucho viento de tal manera que dificultase el establecimiento de la estratificación, todo el volumen de agua adquiriría una temperatura más elevada y permanecería en el hipolimnio al contrario de lo que ocurriría si no hubiese viento, caso en que la capa más profunda permanecería a una temperatura próxima a los 4°C.

Circulación Parcial de Otoño. Se realiza gracias a la destrucción progresiva de la estratificación originada por el descenso gradual de la temperatura en la superficie. Como consecuencia, se inicia una introducción cada vez mayor de las capas superiores en la termoclina provocando su calentamiento, en un proceso lento de uniformización de la temperatura. Cuando esa uniformización es completa se tiene la etapa de circulación total de otoño.

Estancamiento de Invierno. Una vez uniformizada la temperatura de todo el volumen de agua, continúa bajando hasta llegar a temperaturas inferiores a los 4°C. Entonces, se produce una inversión de la estratificación del lago y debido al hecho de que el agua a los 4°C tiene la máxima densidad, esa capa permanecerá en el fondo del lago y las otras capas de menor temperatura se situarán por encima de ella. La capa más superficial se congela y eso da origen a un nuevo período de estancamiento ya que el hielo protege la superficie contra la acción de los vientos.