

Así Bernard y Foyler, emitieron en 1933, una teoría mucho mejor fundamentada, al respecto. Llegaron a comprobar lo siguiente: en los líquidos en general hay una tendencia de los átomos que los constituyen a unirse entre sí formando "paquetes" del menor volumen posible. Así, cada átomo tendrá un número mayor de otros átomos que lo acompañen cuanto más ordenados se encuentran ellos, en esos paquetes. En un arreglo ideal, de existencia teórica, un átomo estaría rodeado de otros 12. Se tienen indicios de que el agua, en estado líquido, a una temperatura de 150°C (y naturalmente a una presión adecuada) llega a tener esa estructura. Por otro lado, constataron que el hielo tiene una estructura hexagonal semejante a la de la tridimita (SiO₂). En ese tipo de estructura, los átomos de oxígeno están dispuestos de tal manera que forman tetraedros, con un átomo en el centro y otros cuatro ocupando los vértices. Para el agua, la distancia que hay entre el átomo central y cada uno de los que están en los vértices es de 2.76 Angstrom. En este arreglo, cada átomo de hidrógeno se encuentra situado entre dos átomos de oxígeno, pero nunca a la mitad de esa distancia, es decir a 1.38 Angstrom, de cada uno sino a 0.99 Angstrom de uno y a 1.77 Angstrom del otro. Esa colocación de los átomos de hidrógeno, más cerca de uno de oxígeno que de otro, se debe hasta cierto punto al azar, lo que da lugar a 16 tipos distintos de arreglos para cada grupo de 4 oxígenos distribuidos según la cadena de hidrógeno como lo demostró Pauling (1939). Por ejemplo, todos los átomos de hidrógeno podrían situarse a 0.99 Angstrom de uno de oxígeno (puede haber una sola posibilidad de este tipo de arreglo); o tres átomos de hidrógeno podrían estar a 0.99 Angstrom y un cuarto a 1.77 Angstrom, lo que correspondería a la estructura del Hidroxonio H₃O (con cuatro posibilidades de este tipo de arreglo); dos átomos de hidrógeno a 0.99 Angstrom y dos a 1.77 Angstrom, dando lugar a la molécula neutra H₂O (con 6 posibilidades) y a demás cuatro posibilidades de formación del ión OH⁻ y una del ión O²⁻ con carga doble, y en relación al cual todos los hidrógenos estarían situados a la distancia de 1.77 Angstrom.

También se ha verificado, por medio de los procesos espectrográficos mencionados anteriormente, que a medida que esa estructura se deshace con la fusión del hielo, aumenta la posibilidad de formación de los paquetes en los cuales los átomos tendrán, cada vez, un mayor número de átomos vecinos, lo cual conduce consecuentemente a una contracción del volumen. Este proceso, hasta la temperatura de 4°C, predomina sobre el fenómeno opuesto de dilatación provocado por el calentamiento y en consecuencia se tiene a esa temperatura la máxima densidad. Esa contracción debida a una mejor disposición de los átomos debe proseguir naturalmente hasta alcanzar la temperatura de -150 °C (bajo presión adecuada) cuando el líquido llega a tener la estructura ideal. Pero luego, por encima de los 4°C la dilatación ya es el fenómeno predominante.

El agua es una sustancia muy difundida en la naturaleza y se encuentra principalmente en estado líquido. Esto constituye un hecho excepcional si se considera que las únicas sustancias minerales líquidas que se encuentran en forma natural so-

bre la superficie de la tierra son, además del agua, el mercurio elemental, que ocurre muy rara vez y el CO₂ líquido que ha sido encerrado en el interior de cristales de cuarzo en algunos casos, y que se mantiene naturalmente así debido a una presión muy elevada. El hecho mismo de presentarse como una sustancia líquida a la temperatura ordinaria del ambiente, hace que el agua sea una sustancia peculiarmente singular. En efecto, si se la compara con una serie de otras sustancias de estructura análoga, entre las cuales se coloca algunos hidruros tales como: H₂S, H₂Se, H₂T, H₄C, H₃N, HF y óxidos como: (CH₃)₂O, (C₂H₅)₂O etc., se puede observar que el agua constituye la única excepción a la regla de proporcionalidad directa que existe entre la temperatura del punto de ebullición y el peso molecular. Por lo tanto, si de acuerdo a esa regla general se trata de encontrar por interpolación el punto de ebullición que le correspondería, éste estaría a los -80°C!

2.3. Propiedades Generales de las Masas de Agua.

El agua cuando se encuentra en grandes volúmenes constituyendo masas, presenta muchas características físicas y químicas de suma importancia en la ecología de los organismos acuáticos. Muchas de esas características son debidas exclusivamente a su estructura molecular, mientras otras se originan de su exposición a los elementos físicos del medio o a la existencia de sustancias químicas en solución provenientes de las variaciones del medio. Así, por ejemplo, muchas de las características de las aguas de un lago, tales como: variaciones en la densidad, viscosidad, movimiento de convección, etc., son originadas por la variación de la temperatura del medio y solamente se pueden estudiar en aguas expuestas a esas variaciones. Lo mismo se puede decir, y con mayor seguridad, de la composición química de un cuerpo de agua que varía diariamente debido a la gran cantidad de sustancias disueltas que traen las aguas que lo forman.

2.3.1. Propiedades Físicas de los Cuerpos de Agua.

2.3.1.1. Densidad y Peso Específico.

La densidad del agua cuando está en grandes volúmenes no es uniforme; sufre constantemente variaciones de una región de la masa de agua a otra, así como también con el tiempo. Las principales causas que provocan la variación de la densidad son: la presencia de sustancias disueltas, o en suspensión, la presión y la temperatura.

La presencia de sustancias disueltas, sobre todo sales en solución, no llega a producir grandes variaciones de densidad en las aguas dulces. En ellas, la concentración de sustancias en solución varía de 0.01 gr/l a 1.0 gr/l, siendo común una concentración entre 0.1 y 0.5 gr/l, dependiendo el aumento no sólo de la concentración de la sustancia disuelta sino también de su peso específico. Ahora bien, la diferencia de densidades entre el agua pura y una solución de 1 gr/l de clo-

ruro de sodio es de aproximadamente 0.00085 (a una temperatura constante de 4°C), pudiéndose pues considerar como despreciables las variaciones producidas por concentraciones inferiores a 0.1 gr/l de sal.

También se pueden producir pequeñas diferencias de densidad por variaciones de la presión. Se sabe que el agua pura a la temperatura de 4°C tiene la densidad igual a la unidad, pero esto es cierto solamente cuando la presión es igual a una atmósfera. Si elevamos la presión a 10 atmósferas, la densidad aumentará de 1 a 1.0005 y a 20 atmósferas a 1.001. Además de esto, la temperatura para la densidad máxima llega a ser inferior a 4°C, cuando la presión hidrostática es elevada. Este fenómeno explica el hecho de que, algunas veces, se encuentran temperaturas inferiores a los 4°C en aguas de las capas inferiores de los lagos de gran profundidad, debido a que la presión en esas regiones es más elevada.

Sin embargo, la causa principal de los cambios más sensibles de la densidad, está en la variación que sufre la temperatura como se puede verificar en las diferentes zonas del cuerpo de agua o cuando se la toma a diferentes horas. La densidad del agua disminuye siempre que se baja o se eleva su temperatura más allá de los 4°C (si se considera el agua exenta de sustancias disueltas y a la presión de una atmósfera). Luego, se debe observar que esa diferencia de densidad es mucho mayor a temperaturas altas que a temperaturas próximas a los 4°C. Así por ejemplo, la diferencia de densidad que se observa al elevar la temperatura de 24 a 25°C es treinta veces mayor que la que se verifican entre 4 y 5°C. Posteriormente se darán mayores detalles con respecto a las variaciones de la densidad debidas a los cambios de temperatura, en el capítulo referente a las propiedades térmicas de las masas de agua.

El hecho de que el agua tiene un peso específico 775 veces mayor que el del aire tiene un gran significado ecológico y es responsable de muchos de los caracteres distintivos entre los animales y vegetales acuáticos y terrestres. Así es como todos los organismos de habitat terrestre necesitan estructuras sólidas que les permitan mantenerse erectos, o que les permitan el movimiento sobre la superficie sólida. Gran parte de la masa orgánica que constituye la estructura de los árboles y arbustos terrestres está formada de células dotadas de membranas celulósicas espesas, con ese fin. Entre los organismos acuáticos se puede prescindir casi totalmente de tales estructuras porque se pueden apoyar en el mismo medio líquido. La mayor parte de las plantas subacuáticas, y aún animales como las hidras, etc., pierden su forma característica cuando se las retira de su medio natural, adquiriendo una forma achatada o pegándose a un substrato.

2.3.1.2. Viscosidad y Tensión Superficial.

La viscosidad de un medio siempre constituye un obstáculo a los movimientos de desplazamiento, pudiendo ser, por eso,

considerada como un factor negativo para aquellos organismos (generalmente animales) que deben moverse con rapidez, o un factor positivo para aquellos organismos que son perjudicados por el movimiento provocado por la acción de la gravedad. Tomando en cuenta que la viscosidad del agua es superior a la del aire se puede comprender que los animales acuáticos necesitan de una gran fuerza muscular para desplazarse. Por otro lado, muchos tipos de algas que viven preferentemente en las zonas más iluminadas, próximas a la superficie, y que no poseen órganos de locomoción, se sirven de la viscosidad del medio como elemento de resistencia para no caer al fondo. Dichas algas poseen espinas o prolongaciones de la célula cuya única función parece ser la de aumentar su superficie de contacto con el medio para su mejor sustentación. Algunos autores pretenden demostrar, asimismo, que en ciertas algas hay una variación en el tamaño de esas prolongaciones que está de acuerdo con la variación de la viscosidad del agua. La viscosidad de los líquidos en general está en función de la superficie de contacto, velocidad, y de una constante que depende de la temperatura y de la naturaleza del líquido en cuestión. Por ejemplo, si se va a considerar la variación de la sustentación de un organismo determinado en el agua de un lago, la variable principal que tendrá que tomarse en cuenta es la temperatura. La viscosidad es tanto mayor cuanto más baja es la temperatura y es el doble en un agua a una temperatura próxima a 0°C que a 25°C.

La tensión superficial es también un elemento ecológico importante. La atracción unilateral a que están sujetas las moléculas del interface líquido-aire, genera una verdadera película que sirve de substrato físico a muchos tipos de microorganismos, sobre todo aquellos que poseen una superficie "no mojable" y que son capaces de caminar libremente sobre ella. Esta película superficial puede constituir una barrera irrompible para organismos de pequeñas dimensiones, tales como pequeños crustáceos que accidentalmente pueden ser lanzados fuera de la superficie del agua y mueren porque no pueden atravesar o perforar dicha película (7). Para otros tipos de organismos, esa película constituye un techo al que permanecen ligados. En realidad, en los organismos "no mojables" existe una capa fina de aire entre su superficie y el líquido envolvente cuando están sumergidos en el agua. Para éstos, la película de tensión superficial que se forma entre la superficie de contacto de la capa de aire y el agua, tiene gran importancia porque constituye una verdadera barrera que impide se adhieran a ellos organismos parásitos o epifíticos. Por esta razón, los organismos que poseen una superficie repelente del agua no constituyen substratos aparentes para los organismos extraños que limitarían sus actividades locomotoras y fisiológicas.

Sustancias en solución pueden altear esas condiciones: si se deposita una gota de agua sobre una superficie encerada, se verá que no se extiende sobre esa superficie repelente, sino que permanece abultada. El ángulo de contacto, en ese ca-

so, es de 105° a 110°. Si se disuelve jabón o cualquier otro agente humectante en esa agua, el ángulo de contacto será alterado, hasta el punto de que el agua se extiende sobre la superficie (4). Ese ángulo de contacto es responsable del pequeño menisco que se forma al contacto del agua con los tallos, hojas, o cualquier objeto que atraviesa su superficie. Ese menisco será positivo o negativo, si el objeto sumergido tiene superficie "mojable" o repelente, respectivamente. Las plantas que salen del agua generalmente tienen la superficie encorvada y dan origen a meniscos negativos. Sin embargo, con el tiempo se van acumulando sustancias gelatinosas, o microorganismos sobre esos tallos y su superficie pasa a ser de tipo mojable invirtiéndose el menisco. En los casos mencionados de plantas emergentes del agua, o de hojas que caen sobre la superficie del agua, se tiene que considerar la existencia de tres interfaces: agua-aire, agua-planta y planta-aire. La línea de intersección entre esas tres interfaces, o la relación entre su largo en metros lineales, y la superficie correspondiente del agua en metros cuadrados, se denomina Valor de Intersección, y parece tener importancia ecológica sobre todo con relación a la población de larvas de mosquitos. Cuanto mayor es el área de intersección, mayor será el número de larvas de mosquitos, existiendo un límite en el que la cobertura vegetal llega a ser tan densa que impide o dificulta la deposición de los huevos por las hembras, o aún la respiración de las formas larvadas (8).

2.3.1.3. Propiedades Derivadas de la Reflexión de los Rayos Solares. Variaciones de Color y Turbidez.

En general, las radiaciones que llegan a la superficie del globo terrestre se pueden originar directamente del Sol o de la reflexión de ellas en el cielo o en la Luna. Las radiaciones emitidas directa o indirectamente por otros cuerpos celestes son de intensidad despreciable, desde el punto de vista de los fenómenos limnológicos. La intensidad de las radiaciones emitidas directamente por el Sol, en un día sin nubes, depende de la hora del día, de la estación del año y de la latitud, es decir, de la inclinación con que los rayos llegan a la superficie terrestre. Además de esto, se deben tener en cuenta otros factores como altitud y transparencia de la atmósfera, para estas evaluaciones. Este último factor puede variar mucho en virtud de la presencia de polvo y vapor de agua o sea de partículas en suspensión (turbidez) que reflejan las radiaciones en la atmósfera.

La luminosidad del cielo tiene como origen la difusión de los rayos solares provocada por las partículas cuya dimensión molecular es proporcional a la cuarta parte de la potencia de radiación y, siendo así, afectan más a las ondas de pequeña longitud que a las largas, resultando de esto la pérdida de la coloración azul que se observa en los días con polvo o turbidez atmosférica. La proporción entre las irradiaciones directas del Sol y las provenientes del cielo es variable

y depende de la inclinación del astro, de la altitud y de la presencia de nubes.

Las radiaciones provenientes de la Luna en una noche de Luna llena corresponden a aproximadamente $\frac{1}{40,000}$ de las del Sol y pueden ser reponsables de algunos pequeños efectos en la variación del fitoplancton y otros fenómenos ecológicos en los lagos.

La energía total recibida sobre la superficie terrestres de aproximadamente 15 kilocalorías por metro cuadrado por minuto, en las regiones más calientes del globo. Una parte de ella es reflejada en una proporción que depende de la rugosidad y del color de la superficie. Además existe una reemisión debida al calentamiento del suelo, bajo la forma de radiaciones de gran longitud de onda denominadas radiaciones terrestres oscuras. La cantidad de energía de esta porción es considerable y de ella depende la realización de muchos fenómenos meteorológicos, algunos de gran violencia como tempestades, tifones, etc. En efecto, si se considera el hecho de que "la energía solar recibida por una hectárea de terreno, en un día, es cuatro veces más intensa que la energía liberada de una bomba atómica", se puede llegar a comprender perfectamente la razón de ser de la grandiosidad, muchas veces catastrófica de esos fenómenos (9).

La superficie de un lago se comporta como una superficie perfectamente plana y libre de rugosidades o porosidades pero, por otro lado, debido a su coloración es capaz de absorber gran parte de las radiaciones que llegan hasta ella. Esa capacidad de reflexión de los rayos solares depende naturalmente, del ángulo de incidencia de los rayos solares sobre la superficie del lago, llegando a reflejar hasta un 20% del total de radiaciones, en las horas en que el ángulo solar es pequeño. Si se considera que el período del pequeño ángulo solar es relativamente corto, durante el transcurso de un día, se calcula a través de determinaciones empíricas, que el total de las radiaciones reflejadas o dispersadas por un lago no pasa del 5 ó 6% del total de las radiaciones incidentes durante un día de verano y cerca del 10% en el invierno.

La porción de radiaciones que, atravesando la superficie, consigue penetrar en una masa de agua se divide en dos partes que son responsables de dos fenómenos físicos distintos (10): una parte que atraviesa el líquido y va disminuyendo en cantidad al mismo tiempo que cambia de calidad, ésta es la luz; la otra que es absorbida por el agua, está en forma de calor. Ambas tienen gran importancia para la vida y distribución de los organismos acuáticos.

El grado de penetración de la luz en una masa de agua constituye un factor de importancia fundamental en la ecología. En efecto, la posibilidad de vida en un cuerpo de agua descansa, casi siempre, en la cantidad de alimento orgánico