

2,4,6-triclorofenol, pero que no produce ningún sabor. Dosis mayores de cloro producen la ruptura del anillo aromático y a gregando 10 mg/l desaparecen todas las características del fenol como resultado de la oxidación (25) (26).

3.4.1. Algas.

Las algas constituyen uno de los más importantes factores que causan sabor y olor en las aguas de abastecimiento. Ultimamente, se han realizado varias investigaciones para identificar las sustancias contenidas en las algas y que son responsables por el olor y sabor característico que producen. La extracción y destilación del material de las algas ha permitido llegar a la conclusión de que son los ácidos grasos contenidos en las células los principales causantes de ese fenómeno. Los lípidos totales extraídos de las algas presentan un fuerte olor complejo resultante de la mezcla de varios ácidos grasos que entran en su composición. La cantidad de lípidos en las células aumenta con su envejecimiento, al mismo tiempo que disminuye la cantidad de compuestos nitrogenados, de manera que las algas más viejas tienden a producir sabor y olor más pronunciados (27).

De las investigaciones recientemente llevadas a cabo por Maloney, con cultivos de algas del género Chlorococcum, se pudo sacar las siguientes conclusiones (28):

a) La producción de olor es mucho más intensa cuando las algas en el cultivo, después de pasar por una fase de multiplicación activa, entran en una fase de declinación y comienzan a disminuir en número porque son destruidas por un proceso de autólisis o ruptura "espontánea" de las células con liberación de productos metabólicos (no se trata, en este caso, de productos de descomposición orgánica).

b) Eso ha sido confirmado por el hecho de que la destrucción mecánica de las células que están todavía en la fase de multiplicación, produce un aumento sensible de la producción de olor (seis veces más que en el cultivo original): los compuestos odoríferos están pues acumulados en el interior de las células.

c) La intensificación del olor con la disminución del pH, así como también los experimentos realizados con la destilación al vacío o al vapor del material extraído de las algas, confirman las conclusiones anteriores de que el olor de las algas está relacionado con varios componentes metabólicos, especialmente ácidos volátiles resultantes de la acidificación de sales orgánicas.

Muchas algas dan un sabor intensificado cuando se aplica cloro al agua, debido a la formación de clorofenoles como ya se dijo anteriormente. Además de ello, ciertas algas ricas en compuestos nitrogenados al entrar en descomposición por la acción de hongos o bacterias, pueden producir un mal olor. Tal es el caso de algunas algas verdeazuladas que cuando es

tán vivas tienen un olor característico a hierba, y si se las deja podrir adquieren un fuerte olor a desagües. Otras algas, como la Asterionella y la Fragilaria cuando se descomponen tienen un olor típico de pescado (29). Así mismo, Silvey y Harris (30) afirman que difícilmente un alga viva tiene un olor diferente del común de hierba o de verduras que tiene cualquier otra vegetación acuática. Sin embargo, cuando sufren alteraciones en su ciclo normal se observan modificaciones en la composición química de sus subproductos. Liberan en el agua sustancias diferentes de las que normalmente elaboran y en el caso de su descomposición tienen importancia los microorganismos que causan esa descomposición. Así, por ejemplo, el olor pútrido que se siente cuando las algas son destruidas por actinomicetales se debe al propio actinomicetal o a las sustancias que él elabora y no a los productos intermedios formados durante el proceso de descomposición del alga.

Palmer (9) ha señalado los siguientes olores como característicos de varios géneros de algas. En el primer grupo están los olores "aromáticos" semejantes a los de ciertas flores, verduras o especias conocidas.

<u>Olor</u>	<u>Algas</u>
Geranios	<u>Asterionella</u> , <u>Cyclotella</u> , <u>Fragilaria</u> , <u>Melosira</u> , <u>Stephanodiscus</u> , <u>Tabellaria</u> .
Rábanos	<u>Anabaena</u> , <u>Aphanizomenon</u> , <u>Dictyosphaerium</u> .
Violetas	<u>Cryptomonas</u> , <u>Dinobryon</u> , <u>Mallomonas</u> ,
Nuez Moscada	<u>Synura</u> .
Pepinillos	<u>Peridinium</u> , <u>Synura</u> , <u>Uroglenopsis</u> .
Hierba o grama	<u>Anabaena</u> , <u>Aphanizomenon</u> , <u>Actinastrium</u> , <u>Anabaenopsis</u> , <u>Closterium</u> , <u>Cosmarium</u> , <u>Cylindrospermum</u> , <u>Dictyosphaerium</u> , <u>Gloeotrichia</u> , <u>Gomphosphaeria</u> , <u>Microcystis</u> , <u>Nitella</u> , <u>Oscillatoria</u> , <u>Pediastrum</u> , <u>Rivularia</u> , <u>Scenedesmus</u> , <u>Spirogyra</u> , <u>Staurastrum</u> , <u>Synedra</u> , <u>Ulotrix</u> .

El otro grupo está constituido por los géneros que producen olor o sabor de moho o de barro: Anabaena, Actinastrum, Aphanizomenon, Chlamydomonas, Chlorella, Fragilaria, Melosira, Nostoc, Oscillatoria, Rivularia, Synedra. Siempre que se presenta el olor de moho es muy difícil de eliminar.

El olor a pescado se presenta cuando las algas están en concentraciones elevadas. Así, casi todos los géneros que, cuando están en número pequeño producen olor a geranios, rábanos, violetas, nuez moscada, o pepinillos y cuando están en número mayor dan olor a peces.

El olor denominado "séptico" u olor de desagües se asocia con frecuencia a las algas verdeazuladas cuando forman masas densas en proceso de descomposición. Sin embargo, algunas algas verdes de los géneros Hydrodictyon y Cladophora son también capaces de producirlo. Finalmente, olor y sabor de medicinas, yodoformo, etc. pueden ser producidos por ciertas algas cuando se somete a cloración el agua.

Entre todos los géneros de algas, el que produce olor más ofensivo es el Dinobryon, al que le siguen otros cloroflagelados como Synura, Uroglenopsis, Uroglena, etc. (31). Para eliminar el gusto fuerte a pescado, producido por el Dinobryon se gasta, en las plantas de tratamiento de Chicago, sumas superiores a los 35,000 dólares mensuales en carbón activado (32). Esta alga produce un olor fuerte en concentraciones de apenas 300 organismos por centímetro cúbico de agua (33).

Algunas algas producen un gusto particular, que puede ser amargo (Ceratium, Nitella, Synura, ésta última aún cuando está presente en un número de cinco colonias por centímetro cúbico); o dulce (Microcystis, Aphanizomenon, Chlamydomonas, Cryptomonas, Euglena, Gomphosphaeria).

3.4.2. Otros Organismos.

Aunque las algas constituyan entre los organismos vivos la principal fuente de olor y sabor en las aguas potables, existen muchos otros microorganismos tales como las bacterias (especialmente las del grupo de los actinomicetales), protozoarios, gusanos y crustáceos, así como las hojas de las plantas superiores, que al entrar en descomposición en las aguas, son capaces de dar origen a sustancias organolépticas indeseables. Todos esos microorganismos aunque son, con menor frecuencia que las algas, los que imprimen gusto y olor al agua, despiertan un interés particular porque se reproducen en los reservorios de distribución y aún en las tuberías y tanques domésticos puesto que no necesitan luz para desarrollarse.

Los actinomicetales son organismos unicelulares, microscópicos, filamentosos, ubicados por muchos autores como grupo intermedio entre las bacterias y los hongos, pero clasificados como bacterias. Muchos de ellos producen esporas, semejantes a las de los hongos, las que debido a su tamaño tan pequeño pueden atravesar los filtros de las plantas de tratamiento.

to, pasando al sistema de distribución donde se desarrollan formando nuevos micelios. Esto explica la presencia de gusto y olor desagradables que a veces aparecen en el agua distribuida, a pesar de que sale de la planta de tratamiento exenta de gusto y olor alguno, gracias al empleo de carbón activado o de otros métodos de remoción (30).

El sabor producido por esos organismos (por ejemplo el género Streptomyces) es conocido como sabor de tierra y sus cultivos también presentan ese olor muy intenso. Asimismo, se afirma que la propia tierra tiene ese olor característico gracias a la presencia de los actinomicetales. Además, en el agua el olor puede ser intensificado por la presencia del cloro libre. Esos microorganismos provocan la descomposición de las algas, tales como la Anabaena, Oscillatoria, Aphanizomenon, así como de algunas diatomeas, para vivir a costa de su nitrógeno y reproducirse intensamente, estimulando el apareamiento de un sabor indeseable en el agua. De la misma manera, provocan la putrefacción de plantas superiores como totoras y otras que viven en aguas dulces para utilizar los productos de su descomposición. Los actinomicetales por lo general no se encuentran en el agua en gran número, sino en los depósitos de lodo, en el fondo de los lagos o ríos, pero sí hay una disolución en toda el agua de los productos odoríferos de su metabolismo. Todavía no se conoce la naturaleza química de esos productos aunque ya se han comenzado a hacer investigaciones en ese sentido (34). Otros grupos de bacterias como las del género Microspira, por ejemplo, han sido señalados como causantes de la producción de gusto y olor en las aguas de abastecimiento porque pueden reproducirse en los sistemas de distribución. Las ferrobacterias, como la Crenothrix, y las sulfobacterias, como la Beggiatoa, también son capaces de producir gusto y olor en las aguas (35).

Algunos protozoarios producen olor a pescado en el agua, y los flagelados del género Vorticella que fueron encontrados en una concentración de 1,700 por ml en el lago Flint, Indiana, U.S.A., fueron considerados responsables por un gusto amargo fuerte en las aguas (32). La presencia de ciertos gusanos rojos muy pequeños en los reservorios de distribución ha sido relacionada con la producción de un fuerte sabor y olor en las aguas de abastecimiento (29). Los gusanos blancos, del género Nais y otros, también han sido señalados como responsables de causar problemas de ese tipo. Finalmente, existen referencias hechas a los crustáceos como productores de gusto y olor (21) (36).

3.5. Color y Turbidez.

La turbidez de un agua se debe a la presencia en ella, de partículas en suspensión que pueden ser coloreadas o no; el color se debe a las sustancias pigmentadas en solución que ella contiene. Además, una fuente o un cuerpo de agua puede tener un color aparente debido a la reflexión sobre su superficie de colores del ambiente terrestre, del cielo, etc., o

del color del fondo visto por transparencia, o aún originado por la presencia de partículas coloreadas en suspensión, como sucede cuando hay gran número de algas (ver capítulo 2).

Los reglamentos de potabilidad establecen límites permisibles máximos para el color y turbidez de las aguas de abastecimiento. Siendo así, cuando el agua natural está sujeta a sufrir variaciones en esos factores que exceden a dichos límites, entonces es necesario aplicar un tratamiento adecuado para corregir esas características. En general, ese tratamiento consiste de una sedimentación precedida de floculación con la ayuda de coagulantes y de una filtración que podrá ser realizada en filtros de arena de tipo lento o rápido. Además de éstos, se pueden emplear métodos especiales para casos particulares, tales como: precloración, aireación (sobre todo cuando hay color producido por la presencia de compuestos de fierro o de manganeso), carbón activado, etc.

Se ve pues, que la presencia de microorganismos en el agua puede ejercer dos tipos de influencias con respecto a la producción de color y turbidez en las aguas de abastecimiento. Primero, directamente, debido a su presencia como partículas en suspensión o como productores de pigmentos solubles; y segundo, indirectamente, por medio de la interferencia que causan en el tratamiento de las aguas, especialmente en los procesos de floculación, sedimentación y filtración.

3.5.1. Algas.

3.5.1.1. Interferencia Directa.

Desde el punto de vista de partículas en suspensión, las algas pueden constituir un factor directo de su turbidez. Especialmente en los casos que se produce el fenómeno de la floración de las aguas, la turbidez causada por las algas puede alcanzar valores muy elevados que impidan la penetración de la luz más allá de unos pocos metros dentro del agua. Además, debido al hecho de que las algas poseen ya sea una pigmentación verdosa, azulada, parduzca o rojiza se observan fenómenos de coloración aparente en las aguas, en virtud de su concentración en números elevados. Esa coloración, cuando es producida por cloroflagelados pequeños como los *Chlamydomonas* y otros, da origen a problemas, a veces, de solución difícil, sobre todo cuando no se dispone de un buen sistema de coagulación y filtración. También, se ha observado una coloración rojiza en el agua debida a grandes proliferaciones de *Oscillatoria* (37). Asimismo, se ha observado fenómenos de la coloración de aguas de abastecimiento causados por la proliferación de algas en reservorios de distribución descubiertos, sujetos a la penetración de la luz.

3.5.1.2. Interferencias en la Floculación y Sedimentación.

Las algas pueden causar interferencias indirectas en el color y turbidez de las aguas de abastecimiento debido a las

alteraciones que provocan en los procesos de floculación y sedimentación realizados en las estaciones de tratamiento. La causa principal de esas alteraciones proviene de las modificaciones del pH que producen en el agua sometida a tratamiento. Además, las algas se depositan en gran número en los sedimentadores produciendo un aumento en el lodo sedimentado (36).

Mediante el proceso de fotosíntesis las algas toman el anhídrido carbónico del medio, provocando la precipitación de carbonatos. Esto trae como consecuencia la elevación del pH del agua hasta alcanzar valores elevados (de 10, 0), como es el caso de las aguas donde ocurre el fenómeno de floración. Por otro lado, durante la noche debido a la ausencia de luz y a la suspensión de la actividad fotosintetizante pasa a predominar la reacción contraria de respiración, con el consiguiente enriquecimiento del medio en anhídrido carbónico, disolución de carbonatos y correspondiente disminución del pH. Esas oscilaciones provocan varias dificultades de operación en las estaciones de tratamiento, así como también expendios antieconómicos de coagulantes. Un número elevado de algas en el agua induce a la formación de flocs, flojos pero de gran tamaño, los que contienen burbujas de oxígeno en su interior y que pueden ser fácilmente rotos cuando se utiliza agitación mecánica en los floculadores. Esto es lo más indicado en esos casos puesto que se ha comprobado (especialmente cuando hay gran incidencia de algas que flotan como la *Anabaena* y el *Coelosphaerium*) que los flocs de menor tamaño producidos por la agitación, sedimentan mejor, resultando por ello un agua decantada con menor turbidez y color.

Las aguas ricas en algas, para producir la floculación, exigen una mayor cantidad de coagulantes lo que constituye un problema serio en muchas estaciones de tratamiento. Esta exigencia parece ser debida casi exclusivamente a la elevación del pH del agua como resultado de la fotosíntesis. Siendo esto así, el exceso de sulfato de aluminio tiene como función, hacer bajar el pH a niveles compatibles con la coagulación. Sin embargo, esto se puede obtener directamente agregando ácido sulfúrico o en muchos casos evitando el empleo de aireadores que provocan la pérdida del anhídrido carbónico que ha sido liberado por la aplicación de sulfato de aluminio (33).

3.5.1.3. Obstrucción de los Filtros.

El agua que llega a los filtros, con frecuencia, contiene un gran número de algas las cuales serán retenidas por la arena. Además, el lecho filtrante está expuesto a la luz lo que permite el desarrollo de muchas especies, dando origen a una capa biológica viva que recibe la denominación alemana de "Schmutzdecke". Esta capa biológica también puede formarse por la asociación de otros tipos de microorganismos, como sucede cuando los filtros están cubiertos, en cuyo caso pasan a predominar los hongos y las bacterias de vida libre. Dicha capa puede tener importancia como elemento filtrante, sobre todo en los filtros lentos. Muchos de esos microorganismos son productores de materias gelatinosas que tienen capacidad