

table es de uso continuo, y no puede contener elementos que sean peligrosos debido a su acumulación en el organismo o que estando presentes en dosis muy bajas puedan causar daño después de un consumo seguido y prolongado. Entre los compuestos tóxicos que se pueden encontrar eventualmente en las aguas de abastecimiento están aquellos elaborados por la actividad biológica de organismos tales como algas, bacterias y plantas superiores.

3.3.1. Algas Tóxicas (12)

El caso más antiguo que se conoce de intoxicación de animales, relacionada con una intensa proliferación de algas en el agua que bebían, fué el descrito por George Francis en 1878, ocurrido en Adelaide, Australia. Se trataba de un alga verdeazulada, denominada Nodularia spumigena que, en ocasiones de temperatura más elevada, se reproducía con gran intensidad en el lago Alexandrina formando floraciones y provocando la muerte rápida del ganado que bebía sus aguas. El autor describía además los síntomas producidos así como el tiempo que demoraban los animales en morir: caballos, de ocho a veinticuatro horas; perros, de cuatro a cinco; cerdos, de tres a cuatro; carneros, de una a ocho horas. De 1940 a 1950, Ivan Ophel repitió el estudio de las algas tóxicas en ese mismo lago y confirmó, de modo general, las observaciones hechas en 1878.

Después del informe de Francis, fueron comunicados muchos otros casos de intoxicaciones producidas por aguas que contenían algas verdeazuladas de ese mismo género así como de otros géneros. Se pueden citar como ejemplos los sucedidos en Ferguson Falls, Minnesota en 1900; Winnipeg, Lake Michigan en 1914; Frazer Lake, Hastings County, Ontario, en 1924; cinco casos en Minnesota de 1918 a 1934; Colorado, comunicado en 1939; Río Misouri, Montana, comunicado en 1934; Onderstepoort, Africa del Sur, comunicado en 1945; Lago Des Lacs, North Dakota, comunicado en 1947; Laguna Benedetti, Santa Fé, Argentina en 1948. Además ocurrieron otros casos en Idaho, Iowa, South Dakota, Wisconsin y Alberta, E.U.A.; Bermuda y Finlandia.

Olson (13) admite que si muchos otros casos no han sido informados se debe a una tendencia natural de los veterinarios y criadores de ganado de atribuir las pérdidas a causas más patentes y mejor conocidas.

Es interesante anotar que los casos, relativamente frecuentes, de intoxicaciones debidas a algas marinas son producidas generalmente por cloroflagelados, tales como los del género Gonyaulax que, cuando se presentan en gran número producen la llamada "marea roja" en los mares, mientras que todas las algas de agua dulce conocidas como tóxicas pertenecen al grupo de algas verdeazuladas. El género más frecuentemente citado es el Microcystis, sobre todo las especies M. flos-aquae y M. aeruginosa. Otras algas mencionadas como responsables de fenómenos de intoxicación en aguas dulces son: Anabaena (principalmente A. flos-aquae), Aphanizomenon, Coelosphaerium, Gloeotrichia, Nodularia y Nostoc.

3.3.1.1. Efectos Tóxicos.

Por efecto del agua que beben son relativamente frecuentes los casos de envenenamiento de animales domésticos y salvajes, tales como carneros, caballos, perros, cerdos, vacas, gallinas, pavos, patos, etc. En el Canadá se registró la muerte de 150,000 patos en el lago Great Salt (14) y en el lago White Water en Manitoba es muy conocido el fenómeno de la muerte periódica de las aves acuáticas todos los años en el verano. Así, en un estudio que se hizo en 1949 durante un período de siete días se comprobó la muerte de cerca de 60,000 aves en ese lago (15). Se han hecho experimentos de laboratorio utilizando conejos, cuyes, ratones, peces, sapos, etc. Los peces, en general, parecen ser los más resistentes y por esta razón se convierten en los vehículos frecuentes de la toxina para aquellos animales que se alimentan con ellos, tales como las aves acuáticas y los mamíferos. Se conocen casos de intoxicaciones de este tipo causadas por la ingestión de peces que se habían alimentado de Lyngbya majuscula y L. aestuarii, algas verdeazuladas marinas tóxicas; así como también de un gran número de casos de enfermedades graves producidas por el consumo de moluscos que se nutren de flagelados marinos tóxicos (9). También se sabe de casos idénticos de envenenamiento de gatos que se habían alimentado con patos o peces que habían ingerido algas tóxicas de agua dulce (13). Los síntomas de envenenamiento que presentan los animales que ingieren algas tóxicas son los siguientes: piloerección, disnea, convulsiones, parálisis de los miembros posteriores, pérdida de equilibrio, espasmos de respiración y muerte. Algunos autores han observado otros síntomas además de éstos pero no son importantes para la determinación de la naturaleza de la acción tóxica.

Son más raros y discutidos los casos de efectos tóxicos o fisiológicos producidos en el hombre por aguas de fuentes donde proliferan algas verdeazuladas. En el Canadá se tiene conocimiento de un caso, muy antiguo, de un niño que murió instantáneamente, después de beber el agua de una laguna que tenía floración de algas. La explicación que se da para que hayan habido tan pocos casos de intoxicación aguda en el hombre, está en el hecho de que las aguas en las cuales ocurre la floración tienen siempre un aspecto repugnante debido al color verde intenso que presentan, así como al olor y gusto que resultan de la putrefacción de esos microorganismos; esto hace difícil el beber una cantidad relativamente grande de agua que sería necesaria para provocar la intoxicación. Sin embargo, se han mencionado casos de gastroenteritis producidas por aguas tratadas, provenientes de fuentes en las que ocurría la floración. Un caso clásico es el ocurrido en Charleston, West Virginia, en Octubre y Noviembre de 1930, en el que cerca de 10,000 personas fueron atacadas por ese mal a pesar de que el agua de abastecimiento público fué tratada por los procesos normales de sedimentación, filtración y cloración, además de la precloración que se utilizó en esa ocasión para reducir la gran polución existente. También se tiene conocimiento de la ocurrencia de epidemias gastrointestinales rela-

cionadas con algas verdeazuladas en Washington, Weston, Siverville, Ashland, Louisville, Kentucky, Portsmouth, Irontown, Cincinnati. En Sudamérica se puede mencionar, por lo menos, un caso ocurrido en la ciudad de Santa María, en el estado de Río Grande do Sul, Brasil, que se abastecía con las aguas tratadas de un embalse y que presentaba anualmente el fenómeno de la floración de algas del género Anabaena. Muchos autores dudan de la responsabilidad que hayan tenido las algas tóxicas en provocar esos casos conocidos de epidemias de gastroenteritis y más bien reconocen la posibilidad de coincidencias originadas por la presencia de grandes cantidades de material polutante, sobre todo en los casos ocurridos en Charleston y Ontario. Sin embargo, se admite como muy probable el efecto nocivo que puede resultar de la acumulación de esas algas y su posterior descomposición en los filtros de las plantas de tratamiento. Según las opiniones expresadas por investigadores de prestigio, no existe ninguna razón para no creer que la sustancia producida por las algas, tóxica en pequenísimas concentraciones para el organismo de algunos mamíferos, así como de aves, peces, anfibios, etc. a los que se les inoculó, no lo sea también para el hombre. Corroborando con estas opiniones están los más recientes descubrimientos realizados por Bishop y colaboradores (16) sobre las propiedades de esas toxinas. Con ellos quedó demostrado que las enzimas del aparato digestivo del hombre no ejercen acción hidrolizante sobre las toxinas, las cuales conservan intactas las propiedades tóxicas aún después de un contacto prolongado.

Por otro lado, se sabe que ocurren con mucha frecuencia intoxicaciones humanas producidas por algas marinas microscópicas que sirven de alimento a los moluscos que el hombre consume. Se puede citar de casos ocurridos en: Quebec, Nueva Escocia, New Brunswick, Vancouver Island, California, Alaska, Oregon, Maine, México, Islas Británicas, Noruega, Francia, Bélgica y Nueva Zelanda, en los que se registraron 356 casos de intoxicación, siendo fatales 24 de ellos, en el período de 1927 a 1941.

3.3.1.2. Origen, Naturaleza y Propiedades de las Toxinas.

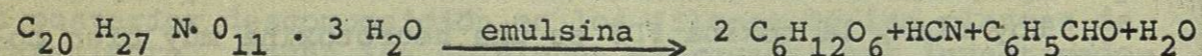
Muchas de las discrepancias que existían con respecto a las propiedades, naturaleza y origen de las toxinas de las algas han sido resueltas gracias a los trabajos que se están llevando a cabo sobre todo en el Canadá y que revelan la existencia de dos procesos o dos orígenes diferentes de las toxinas, así como también dos calidades distintas. Se sabe que algunas cepas de algas (y no todas) de las especies de Microcystis aeruginosa y otras, son productoras de una endotoxina propia del alga, mientras que otras cepas de las mismas especies de algas verdeazuladas pueden no serlo. Se trata de una toxina violentísima que provoca la muerte en una hora después de haber sido inoculada en un animal, en la proporción de 0.5 miligramos por kilogramo de peso. A esta toxina se le denominó FDF (fast death factor). Sin embargo, todas las algas de esas especies inclusive las que no tienen toxina propia, pueden al entrar en descomposición originar un ambiente favorable al desarrollo de ciertas bacterias tóxicas. Por esta razón,

muchos autores que no obtenían efectos tóxicos a partir de las algas frescas, lo obtenían después de una incubación durante períodos prolongados (24 a 30 horas) en ambiente de temperatura constante (27 a 35°C). Esta toxina se distingue de la primera en que sus efectos son retardados (los ratones inoculados nunca llegan a morir antes de las tres horas) y por esta razón se le llama toxina SDF (slow death factor) es decir, factor que provoca una muerte lenta. Recientemente se ha descubierto una tercera toxina a la que se le ha denominado VFDF (very fast death factor), producida por la Anabaena flosaquae y que se caracteriza por una acción tóxica sumamente violenta, pudiendo provocar la muerte de un ratón inoculado después de 1 a 10 minutos (17).

Hoy día, la toxina FDF es una neurotoxina muy bien conocida en su naturaleza química. Se trata de una cadena peptídica no hidrolizable por acción de las enzimas proteolíticas, lo que explica su acción tóxica por vía oral; es sumamente soluble en el agua cuando está en la forma de sal (puede ocurrir también bajo la forma ácida en la que no es soluble en el agua); puede permanecer activa en el medio después de la destrucción mecánica o biológica de las algas; en solución, es una sustancia dializable a través de una membrana, siendo éste el método empleado por Bishop y colaboradores (16) para extraer la toxina de un macerado de algas, lo que significa que la toxina puede pasar de la célula al medio sin poder ser retenida por ningún proceso corriente de filtración mecánica; es muy resistente al calor, a las grandes variaciones de pH (hasta 10) y a los procesos corrientes del tratamiento de aguas, como son: coagulación empleando sulfato de aluminio, filtración, cloración y aún al carbón activado cuando es usado en dosis normales. Por otro lado, esta sustancia es susceptible a los pH mayores que 10 y tiene una gran afinidad por las superficies adsorbentes y es retenida por el carbón y muy difícilmente liberada de él. Esta última propiedad de la toxina encierra la mayor posibilidad del tratamiento de un agua que contenga toxinas provenientes de algas tóxicas y acumuladas en gran cantidad, para fines de abastecimiento público. Los experimentos realizados por Wheeler y Lackey (18) han demostrado que el carbón activado, empleado en cantidades equivalentes a las usadas para eliminar el gusto y el olor en las aguas, apenas adsorbe la toxina en forma parcial, sin embargo, si se usa en cantidades mayores se puede eliminar totalmente a la toxina o reducirla a niveles inocuos. En la actualidad no se tienen datos experimentales de los posibles efectos fisiológicos causados por la ingestión continua y prolongada de dosis no tóxicas de las toxinas propias de las algas o de aquellas que provienen de su descomposición bacteriana. En lo que se refiere a la toxina VFDF, todavía no se conoce bien su naturaleza química, pero se sabe que es susceptible al calor y a los álcalis; es fácilmente adsorbida por el carbón; y al contrario de las anteriores es completamente neutralizada por la coagulación con sulfato de aluminio (17).

3.3.2. Otros Organismos Tóxicos.

Se tiene conocimiento de casos de mortandad de peces en los ríos, a veces de grandes proporciones causadas por sustancias vegetales tóxicas procedentes de hojas, frutos y semillas de plantas terrestres. En general, la acción de esas vegetales se debe a que poseen glucósidos cianogenéticos (como la amigdalina) los cuales al ser hidrolizados dan origen a la glucosa y al ácido cianhídrico. Dicha hidrólisis se puede llevar a cabo debido a la acción de una enzima llamada emulsina. Por ejemplo, la hidrólisis de la amigdalina da dos moléculas de glucosa, una de ácido cianhídrico y una de aldehído benzoico:



Los peces también poseen enzimas digestivas capaces de hidrolizar la amigdalina convirtiéndola en cianuro y azúcar (19). La amigdalina se encuentra en muchas semillas que se caracterizan, en general, por tener un sabor amargo o un olor a ácidocianhídrico. Las almendras amargas constituyen un ejemplo, así como también las semillas de la ciruela amarilla y del melocotón. En la América del Sur existen varias plantas nativas que contienen glucósidos cianogenéticos en las semillas, hojas y aún en las raíces. Por ejemplo, la Manihot esculenta (yuca venenosa), las semillas y hojas del Prunus sphaerocarpa, de varias especies del género Rhynchosia, de la Crotolaria vespertilio, etc. Merecen especial referencia las innumerables especies de Jacquinia, en las que se encuentra la Jacquinia barbasco, por ser plantas ictiotóxicas empleadas por los nativos de este continente en la pesca en forma indiscriminada de peces en grandes cantidades. Ya que son muchas las distintas especies que provocan la muerte o parálisis de los peces y que pertenecen sobre todo a los grupos de sapindáceas y leguminosas, son también diferentes los principios tóxicos que ellas poseen. De algunas especies de Jacquinia se han extraído alcaloides, de otras sustancias de gran poder insecticida como la Rotenona, y existen aún otras que todavía son desconocidas desde el punto de vista químico (20).

3.4. Sabor y Olor del Agua.

El agua cuando está en estado puro no tiene gusto ni olor propios. Por esta razón es que el agua destilada es desagradable al paladar y es deseable que el agua potable contenga algunas sustancias, en concentraciones bajas, para que estimulen su palatabilidad. Entre las sustancias más frecuentemente encontradas en las aguas naturales, están: los carbonatos, sulfatos, cloruros y nitratos de calcio, fierro, magnesio y sodio, además de algunos compuestos de silicio y a veces algunos compuestos orgánicos. Los gustos que pueden resultar de la presencia de esas sustancias en el agua son principalmente de cuatro categorías: ácido, amargo, dulce y salado. De la

combinación sensorial de esos cuatro gustos con los innumerables olores producidos sobre todo por los compuestos orgánicos, puede resultar una infinidad de diferentes sabores que permiten, muchas veces, reconocer el tipo de compuesto presente aún en concentraciones pequeñísimas. Además del gusto, olor, y sabor, ciertas sustancias pueden ser responsables por sentir sensaciones especiales en la lengua, tales como: metálicas, astringentes, de sequedad, etc.

Todas estas sensaciones varían mucho de intensidad, de acuerdo con la sustancia que las produce. El sabor medicinal producido por los fenoles, puede distinguirse aún cuando dicho compuesto se encuentra diluido en la proporción de una parte en quinientos millones de partes de agua (21) y hay otras sustancias cuyo olor se puede percibir en diluciones tan bajas como 0.01 mg/m³ (22) (23). Se puede percibir el olor característico de huevo podrido cuando un millonésimo de miligramo de hidrógeno sulfurado es diluido en un litro de aire (24).

El origen principal de los gustos y olores en las fuentes de agua proviene de los desagües y desechos industriales. Los productos de la descomposición bacteriana, sobre todo la anaerobia, tales como: metano, mercaptans, hidrógeno sulfurado, etc., se caracterizan siempre por el olor intenso que producen. Además de ellos, son innumerables los subproductos amínicos y ácidos grasos que tienen un sabor propio característico. Las industrias de papel, de coque, etc. arrojan desechos que siempre producen sabores y olores en el agua que son difíciles de eliminar. Muchos de ellos son reducidos por la acción biológica del proceso de autopurificación de los cursos de agua. Los fenómenos estacionales también pueden originar la intensificación cíclica del olor, sobre todo después de un período de estiaje, cuando las lluvias caen nuevamente y remueven la capa de lodo que se depositó durante el período de menor corriente de agua.

La introducción de desechos en un agua provoca, con mayor frecuencia, la producción de sabor debido a la presencia de fenoles y de diversos microorganismos, siendo aquellos más perceptibles cuando el agua es sometida a cloración. La intensificación del sabor producida por la cloración ha sido objeto de cuidadosos estudios en los que se han comprobado varios hechos. La combinación progresiva del cloro con el fenol, da como resultado, en forma sucesiva, a los siguientes compuestos clorofenólicos: 2-clorofenol; 4-clorofenol; 2,4-diclorofenol; 2,6-diclorofenol; 2,4,6-triclorofenol y 4,4-dicloroquinona. De todos ellos, se ha confirmado que los que tienen sabor más fuerte son: el 2,6-diclorofenol (que da el 75 por ciento del sabor total); el 2,4-diclorofenol y el 2-clorofenol (que dan el porcentaje restante), mientras que los demás compuestos ejercen acción despreciable. La aplicación de 4 mg/l de cloro a un agua que contiene 1 mg/l de fenol y tiene un pH de 8 es suficiente para eliminar totalmente el sabor, pero para tener cloro residual libre es necesario aplicar 7 mg/l. Con la dosis de 4 mg/l hay una producción máxima de