

Invirtiendo los términos de la proporción, y simplificando, resulta:

$$\frac{n-1}{d} = \frac{n'-1}{d'} = \frac{n''-1}{d''} = \frac{n'''-1}{d'''} \text{, etc., etc}$$

Queda demostrada la exactitud física de la empírica de Gladstone, y el por qué, a pesar de que era desconocido su fundamento científico, la práctica la hacía superior a las otras expresiones refractométricas.

Málaga, 29 de noviembre de 1945.

El sabor y el olor de las aguas

Por ROMAN CASARES LOPEZ

Todos conocemos que una de las cualidades fundamentales de las aguas para considerarlas como potables es que sean inodoras e insípidas. Pero lograr estas cualidades depende de muchos factores. Hoy, cuando hay que atender al suministro de aguas potables a grandes núcleos urbanos, surge el problema de buscar aguas exentas de olor y sabor, de evitar que se produzcan en ellas durante su reposo en embalses o depósitos, y finalmente de eliminar los mismos de las aguas que los poseen. Instintivamente, el hombre rechaza como im potable toda agua que tenga los defectos indicados, y además no debe usarse para la confección de alimentos, a los que les comunica sus desagradables propiedades. Sólo pequeñas cantidades de sal y de ácido carbónico se toleran por el sabor fresco que producen.

El olor y el sabor son sensaciones afines, aunque distintas, y muchas sustancias se conocen que siendo inodoras poseen un marcado sabor; el caso contrario, de sustancias aromáticas que sean insípidas, es desconocido. Los sabores fundamentales de las aguas son cuatro, dulce, amargo, ácido y salado. Las sensaciones más diversas que reciba nuestro paladar a ellas las refiere; por lo que evidentemente es el más grosero de nuestros sentidos. Muy sensible es el sabor salado; si la concentración de cloruro sódico es superior al límite de percepción humana no hay más remedio que buscar otra agua potable, porque la repugnancia es invencible.

En cuanto al olor, la sensación es más complicada, sobre todo si la sustancia al mismo tiempo se saborea, ya que si la sensación procede de los vapores que llegan a la pituitaria por las vías nasales exteriores e internas, llevadas, respectivamente, por la inspiración o espiración pulmonares, la sensación del sabor percibida al mismo tiempo se superpone y los olores de las sustancias paladeadas resultan más intensos.

La especificación del olor encontrado en un agua tiene mucha importancia para el estudio de las causas que lo motiven, la identi-

ficación del origen, y por lo tanto, para la eliminación de los mismos o de las causas que los producen. La clasificación de los olores es muy difícil, cuanto que la imperfección del olfato humano y la múltiple variedad de sustancias aromáticas hacen que se confundan unos con otros fácilmente si no se ha educado bien este sentido. Esto sólo se logra después de un largo tiempo dedicado a la clasificación de aguas con auxilio del olfato; así se llega hasta precisar la concentración de la sustancia que lo produce.

La clasificación cualitativa más usada es la de *Whipple*, en la que los olores de las aguas se han expresado por un nombre descriptivo, y dándoles la inicial del mismo nombre inglés. Las principales son las siguientes:

- a = aromático (*aromatic*).
- c = a cidra (*citrine*).
- Cl = a cloro (Cl_2).
- d = desagradable (*disagreeable*).
- e = terroso (*earth*).
- f = a peces (*fish*).
- G = a geranios (*Geranium*).
- g = a hierba (*grass*).
- I = a yodoformo o medicinas (*Iodoformium*).
- m = a mohos (*mush*).
- mm = a melón (*melon*).
- N = a berros (*Nasturtium*).
- o = a grasa (*oil*).
- p = porcino (*porcine*).
- S = a hidrógeno sulfurado (SH_2).
- V = a violetas (*Viola*).
- v = a verduras (*verdure*).

El hidrógeno sulfurado produce un olor a huevos podridos y un sabor desagradable. La mayoría de las aguas ferruginosas profundas lo contienen, procedentes de terrenos sulfurados. Puede producirse por biogénesis, ya que muchos microorganismos pueden reducir los sulfatos a sulfitos, tiosulfatos y sulfuros, como, por ejemplo, la *Microspira desulfuricans* de las aguas dulces y la *M. aestuarii* de las aguas salobres. Otras producen el hidrógeno sulfurado por putrefacción de materias orgánicas sulfuradas. A veces son procesos químicos de reducción, como ocurre con los sulfatos disueltos que pasan por terrenos bituminosos o carbonosos. Tenemos, por lo tanto, que la presencia de hidrógeno sulfurado en las aguas es claro indicio de fenómenos de reducción, biológica o mineral, o que son aguas de origen profundo y exentas de oxígeno disuelto, pues pequeñas cantidades de este elemento lo destruyen.

Los olores y sabores producidos por la clorización pueden ser

debidos en primer lugar a la presencia de cloro libre disuelto en las aguas. Raras veces se presenta en las redes de distribución, y depende de una dosificación excesiva o inadecuada. El límite de sensibilidad es de 0,1 a 0,8 miligramos por litro, cifra que varía con otras características del agua tratada, sobre todo con la materia orgánica que contiene. Pero en general, el sabor producido por la clorización se debe a la combinación del cloro con otras sustancias contenidas en las aguas: fenoles, cresoles y otros compuestos orgánicos debidos al metabolismo microbiano y a la putrefacción orgánica, los que reaccionan con el cloro, dando clorofenoles y otros derivados de intenso sabor y olor desagradable. Genéricamente se llama a yodoformo o medicinas, pues lo recuerda, aunque, como es evidente, no se forma. Este fenómeno se acusa más en las aguas superficiales impurificadas con residuales de coquerías, fábricas de gas, azucareras, etc. El cloro es un óptimo germicida, y los microorganismos destruidos por este elemento dan olores que no poseían las aguas antes de la clorización. Aguas que contienen *Synura* dan, después de tratadas con el cloro, olores que no poseían antes de la operación.

Las aguas superficiales de ríos, lagos, lagunas, embalses, etcétera, tienen casi siempre olores más o menos perceptibles, que en la mayor parte de las veces es debido a microorganismos, que los producen como sustancias propias de su metabolismo o por su acción sobre las sustancias orgánicas disueltas o en suspensión. En las aguas corrientes, la proporción de microorganismos depende de la velocidad; cuando es menor aumenta y llega al máximo en las presas, pantanos y embalses, donde la corriente es mínima o nula. Estos microorganismos constituyen el plancton de las mismas, unidos a restos descompuestos de ellos, dando olores que a veces recuerdan los de aceites esenciales.

Los hidrobiólogos han encontrado hasta relaciones entre determinadas especies y ciertos olores, tanto que *Whipple* y *Kirkpatrick* han llegado a afirmar que conociendo el olor se pueden precisar los microorganismos que constituyen el plancton de las mismas. Olor desagradable a peces podridos produce la *Uroglena volvox*; aroma a peces, la *Asterionella formosa* y *Cyclostella*; olor a pepinos, la *Synura uvella*; a tierra, muchos *Actinomyces*, *Rivularia* y *Cyanophyceae*; a mohos, el *Ceratium hirundella*; a porcino, los *Anabaena*, etcétera.

El desarrollo de estos seres está influido por una serie de fenómenos y factores, tales la temperatura, las radiaciones ultravioleta solares, las posibilidades alimenticias, etc., las cuales varían principalmente con las estaciones. Dichas variaciones no llegan, sin embargo, a una periodicidad completa, como se ha demostrado con experiencias hechas con un mismo tipo de agua durante varios años

seguidos. *Whipple*, trabajando con las aguas de un lago americano, obtuvo cifras de un período de cinco años. Dedujo de ellas que las diatomáceas y cianofíceas necesitan condiciones biológicas contrarias. El desarrollo óptimo de las primeras se verifica en los meses de invierno, cuando la temperatura es baja y la radiación solar menor, mientras que las cianofíceas prefieren los meses de verano. Además, algunas especies se aíslan todo el año, mientras que otras son de vida efímera y se encuentran sólo en contados días, pero coincidentes en la época del año.

Varía también la cifra de microorganismos con la profundidad. La mayor cantidad se hallan entre los 10 y 30 metros bajo el nivel del agua; más abajo decrece el número de ellos, y lo mismo ocurre en dirección a la superficie, donde la aireación y los rayos solares limitan su desarrollo. En cuanto al olor del plancton, es más manifiesto en las épocas en que la temperatura del ambiente es más elevada.

No todos los microorganismos que pueblan las aguas producen olores, así que la medida del número de ellos no tiene interés para nuestro objeto. En cambio, tiene mayor importancia la clasificación de los mismos, labor de especialistas, ya que sólo determinados géneros son productores de sustancias olorosas. Los principales géneros de microorganismos encontrados en las aguas son los siguientes:

<i>Cyanophyceae</i>	<i>Cladophora</i> (**).
<i>Anabaena</i> (*).	<i>Closterium</i> .
<i>Aphanizomenon</i> (*).	<i>Coelastrum</i> (**).
<i>Clathrocystis</i> (*).	<i>Desmidium</i> .
<i>Coelosphaerium</i> (*).	<i>Draparnardia</i> .
<i>Microcystis</i> .	<i>Eudorina</i> (*).
<i>Oscillatoria</i> (*).	<i>Enteromorpha</i> .
<i>Diatomaceae</i>	<i>Hydrodictyon</i> .
<i>Asterionella</i> (*).	<i>Microspora</i> .
<i>Fragilaria</i> (**).	<i>Palmella</i> .
<i>Melosira</i> (**).	<i>Pandorina</i> (*).
<i>Navacula</i> (**).	<i>Scenedesmus</i> .
<i>Sinedra</i> (*) (**).	<i>Spirogyra</i> (**).
<i>Staphanodiscus</i> .	<i>Staurostrum</i> .
<i>Tabellaria</i> (*) (**).	<i>Tribonema</i> (**).
<i>Clorophyceae</i>	<i>Ulotrix</i> .
<i>Ankistrodemus</i> .	<i>Volvox</i> (*).
<i>Chara</i> (**).	<i>Zinégma</i> .

(*) = agentes productores de olores y sabores.

(**) = agentes que producen espuma y turbidez.

Schizomyces

Beggiatoa (**).
Crenotrix (*).
Sphaerotilus.
Dicho-tomus.

Fungi

Leptomitus.

Protozoa

Ceratium (*).
Chlamydomonas.
Eryptomonas.
Dinobryon (*).
Euglena.
Clenodinium (*).
Mallomonas (*).
Peridinium (*).
Synura (*).
Uroglenopsis (*).

* * *

El olor y sabor es producido por sustancias minerales u orgánicas que se encuentran en cantidades variables; hasta cierto límite no se percibe su desagradable influjo, y a veces éste se consigue con cantidades pequeñísimas. Así que desde el punto de vista analítico muy bien puede determinarse la cantidad de hidrógeno sulfurado, hierro, manganeso, cloro, fenoles y otras sustancias aromáticas definidas. Pero las que comunican los olores y sabores a tierra, mohos, hierbas, etc., sólo producen un consumo mayor de oxígeno al valorar la materia orgánica del agua por el método de *Kubel*. Se recurre, por lo tanto, a la determinación cuantitativa del olor, despreciando su origen, ya que, como decimos, la sustancia productora en la mayoría de los casos nos es desconocida.

La determinación cuantitativa se hace generalmente por el método de *Spaulding*, basada en la determinación del *número límite* (*threshold number*), que se define como "el recíproco de la máxima dilución necesaria para que el agua examinada no tenga olor perceptible". El procedimiento es sencillo: se diluyen cantidades decrecientes de agua problema con agua desodorizada hasta completar el volumen de 250 c. c., en las proporciones necesarias. Se echan cada 250 c. c. de mezcla en un frasco de tapón esmerilado de 500 c. c. de capacidad, y se comienza a oler por los más diluidos, hasta encontrar el que primero tenga olor perceptible. Si, por ejemplo, el olor comienza a notarse a partir del frasco que tiene 25 c. c. de agua problema diluida hasta los 250 c. c., como la dilución es 1/10, el número límite, según la definición dada, será 10.

Se ha visto que no es correcta la dilución hecha con agua destilada, ya que influyen las sales disueltas en el agua, por lo que, como hemos dicho, se diluye con la misma agua desodorizada. Se obtiene hirviendo la muestra de agua hasta evaporar 1/10 de su volumen y completando éste con agua destilada, o mejor filtrándola por el aparato de la figura 1.

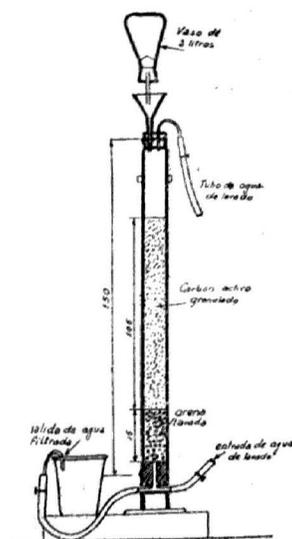


Fig. 1.

La comparación debe hacerse después de agitar el frasco durante unos segundos, para que la atmósfera del frasco se sature del olor. Más sensibilidad se obtiene si se calienta el frasco con la mezcla durante diez minutos a 60°, introduciéndolo en un baño a la citada temperatura. La boca del frasco debe ser ancha para facilitar la percepción del olor.

Spaulding usa para este examen el llamado *osmoscopio*, indicado en la figura 2. Dicho instrumento se introduce en el frasco hasta unos milímetros sobre el nivel del agua, y el extremo de las cánulas se introduce ligeramente en las aberturas nasales. La medida con este aparato es molesta, y se obtienen resultados satisfactorios siempre que se tenga en cuenta la limpieza más escrupulosa de las vasijas y tubos del aparato.

Tanto en uno como en otro método influye poderosamente el factor personal, y para evitar la fatiga no deben hacerse los exámenes con menos de media hora de intervalo. A veces conviene que sean distintas las personas que preparan la dilución y las que perciben el olor, para evitar que el observador pueda estar influido por el conocimiento previo del grado de dilución del agua.

Los métodos indicados dan resultados satisfactorios y concordantes siempre que hayan sido hechas las determinaciones por personas de probada práctica. Por esto, los métodos han pasado a ser normativos en el análisis de aguas y se han adaptado en muchos países para la comprobación de la calidad de las aguas de los embalses. Han resultado utilísimos para identificar la fase del tratamiento en que se manifiestan los olores en las grandes instalaciones hidráulicas y para decidir, por lo tanto, el mejor punto de aplicación de tratamientos colectivos y para la comprobación de la eficacia de éstos. Un agua potable debe dar un número límite inferior a 3.

Otro sistema empírico de valoración de los olores de las aguas es el propuesto por Fair, basado en la ley psicofísica de Fechner. Según ésta, el olor de un agua se designa por pO y se mide por el logaritmo de base 2 del número límite de Spaulding. Así, por ejemplo, en un agua de número límite 16, el pO es igual a 4. ($\log_2 16 = 4$.)

Fair y Welles han ideado un método que, en vez de diluir el agua maloliente con agua desodorizada, diluyen el olor que produce con aire inodoro. Para ello han ideado el osmoscopio, cuyo

esquema se indica en la figura 3. Consiste esencialmente de un tubo cilíndrico, 4, abierto por la parte inferior y cerrado arriba, donde solamente queda un orificio central muy pequeño y provisto de perforaciones laterales, por donde pasa el olor del agua que se examina y que está en la vasija inferior. Otro tubo, *camisa*, 5, abierto por ambos extremos, se ajusta a la pared exterior perfectamente y al tubo 6, que va provisto de agujeros por donde penetra

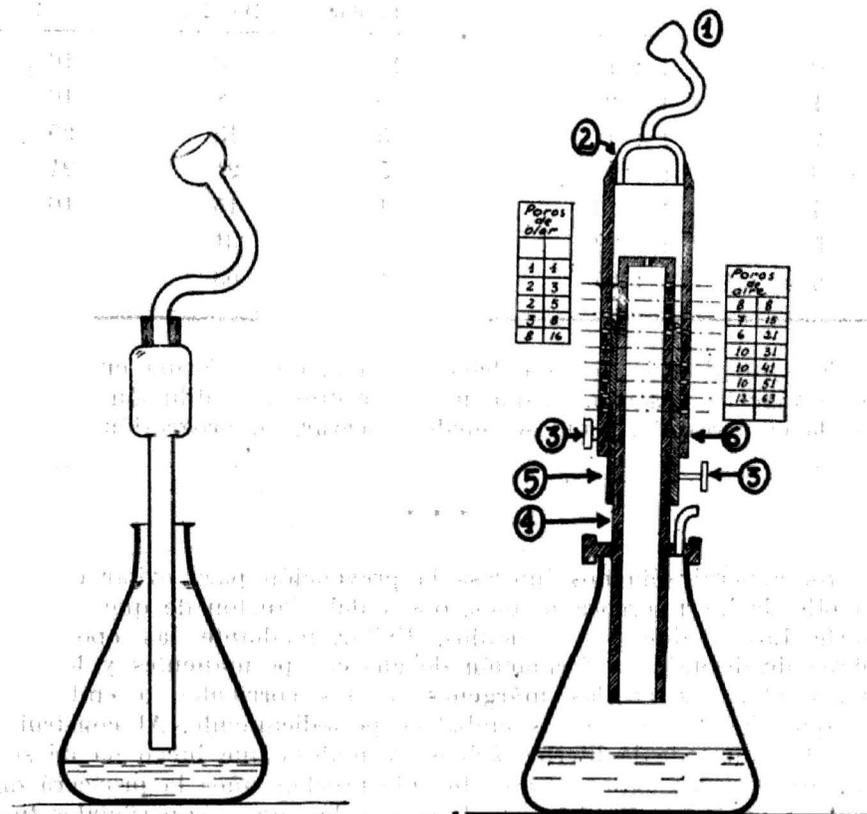


Fig. 2.

Fig. 3

el aire exterior. El aparato lleva una cánula especial, 1, para aplicarla a la nariz, unida al tubo 5 por el ajuste de esmeril, 2; los tornillos 3 sirven para ajustar las posiciones de los tubos respectivos durante las experiencias.

En el matraz se ponen 250 c. c. de agua y se comienza la prueba poniendo el aparato en la posición máxima ($pO = 6$). Para ello el tubo exterior va graduado y se puede ajustar a las distintas posiciones. En ésta corresponde la dilución a una parte de olor por

63 partes de aire, o sea 1/64; si no se nota ningún olor, se pasa a la siguiente posición, pO = 5, que corresponde a 1/32, y así sucesivamente se continúa hasta que se logre percibir el olor. La siguiente tabla da los valores de pO y las diluciones correspondientes.

pO	Dilución	NÚMERO DE ORIFICIOS		
		De olor	De aire	Total
0	1 : 1	16	0	16
1	1 : 2	8	8	16
2	1 : 4	5	15	20
3	1 : 8	3	21	24
4	1 : 16	1	15	16
5	1 : 32	1	31	32
6	1 : 64	1	63	64

El gran defecto de esta determinación, en la forma en que se hace y se ha descrito, es que no se permite una dilución graduada, la cual resulta, como se puede observar, en progresión geométrica.

* * *

En general sólo nos interesa la prevención para evitar el desarrollo de los microorganismos, o sea del plancton de que forman parte. Los medios son sencillos. Evitar, mediante las oportunas obras de drenaje, la formación de charcas permanentes y las zonas pantanosas en las márgenes de las corrientes o embalses. Limpiar los fondos de los embalses periódicamente. Al construirlos, destruir toda la hierba, árboles y maleza que luego ha de ser cubierta por las aguas, y que durante muchos años la proveerá de materia orgánica. No debe olvidarse que las aguas superficiales tienen mejores características que las profundas, y por lo tanto debe captarse superficialmente para los usos alimenticios.

Como medios destructivos se emplean principalmente sustancias químicas. Se usan el sulfato cúprico y el cloro. El primero, para los lagos artificiales o naturales, y el segundo, en los embalses pequeños, depósitos y filtros de instalaciones hidráulicas. El permanganato potásico, hace tiempo usado, está hoy abandonado.

El sulfato de cobre fué usado primeramente como agente para la destrucción de microorganismos, por Moore y Kellermann, en 1904. Desde entonces su uso se ha generalizado y hoy es la sustan-

cia utilizada corrientemente para el tratamiento de las aguas de los embalses naturales o artificiales.

La acción del sulfato de cobre es compleja, y todavía no está perfectamente aclarada. Se supone que el cobre se combina químicamente con el plasma celular, dando compuestos que, al entorpecer sus procesos vitales, les producen la muerte. Por otro lado, la acción oligodinámica de muchos metales, entre ellos el cobre, produce la bacteriólisis de muchos agentes patógenos de las aguas. El proceso es semejante a una esterilización, y su eficacia es directamente proporcional a la cantidad de células, concentración de sulfato y duración del contacto.

La resistencia de los microorganismos es variable; algunos con pequeñas dosis sucumben, mientras que otros necesitan mayores cantidades. Es difícil indicar "a priori" la cantidad necesaria, ya que depende, entre otros factores, de la composición del agua, principalmente de la cantidad de anhídrido carbónico. Hale ha hecho una tabla, usada por los americanos, en la que, en general, necesitan: las cianofíceas, de 0,12 a 0,50 mgr. por litro; las diatomáceas, de 0,07 a 0,50; las clorofíceas, de 0,10 a 10,0; los esquizomicetos, de 0,20 a 5,00; los protozoos, de 0,05 a 2,0, etc. Pero según Moore y Kellermann, la dosis debe ser aumentada 0,5 por 100 por cada grado de temperatura del agua sobre 15°, del 2 por 100 por cada 10 miligramos por litro de materia orgánica, y de 0,5 a 5 por 100 cada 10 miligramos por litro de alcalinidad del agua.

Como la distribución del sulfato no puede hacerse uniformemente, pues es muy difícil la difusión del mismo en la masa líquida, no hay más remedio que usar concentraciones mayores, para asegurar dosis pequeñas, en las zonas menos cargadas. Una sobredosis no es perjudicial, y en cambio, si es insuficiente, sobreviven los microorganismos, con el consiguiente fracaso del tratamiento. Además, siempre se analiza el agua antes de la distribución, y para evitar la presencia del cobre en la misma pueden añadirse pequeñas cantidades de hidróxido cálcico, que lo precipitan totalmente.

El tratamiento cúprico sólo se hace cuando se ve que en las instalaciones o embalses se desarrollan considerablemente los microorganismos, con los consiguientes perjuicios de olor y sabor. Después del tratamiento debe seguirse el estudio biológico de las aguas, mediante análisis microscópicos practicados periódicamente con las mismas. Las variaciones del número y del género de los microorganismos presentes en el agua, antes y después de iniciarse el tratamiento, nos dan cuenta de la mejora de la situación y de la conveniencia de repetir el tratamiento en cuanto se vea un aumento rápido de microorganismos.

Taylor ha estudiado las concentraciones microbianas límites, que son de 500 por c. c. para cianofíceas, clorofíceas y diatomáceas; 2 por c. c. para synura y uroglena y 80 por c. c. para los protozoos.

Subiendo la concentración de estas cifras, es imprescindible el tratamiento con sulfato cúprico.

Sabida la dosis unitaria de sulfato de cobre y el volumen de agua que se ha de tratar, se calcula la cantidad necesaria, considerando la totalidad de la masa a temperatura constante. La adición del sulfato no presenta dificultades, y a veces sólo se hace en las capas superficiales, que es donde más perjudican. Lo mejor es sulfatar hasta 6-9 metros de profundidad, ya que en los fondos mayores el desarrollo de microorganismos es escaso.

La distribución del sulfato varía con la naturaleza del depósito que hay que tratar. El método empleado, cuando los embalses tienen suficiente profundidad, consiste en pasar por el agua, sumergidos y sujetos a un flotador, los sacos o cestos de alambre llenos de sulfato. El movimiento debe ser rápido y uniforme, para evitar una concentración excesiva por disolverse en poco espacio. A veces esta operación se hace con una barca, que lleva suspendidos los recipientes de sulfato, y a la que se hace recorrer toda la superficie, en zig-zag, por dos veces, en sentidos opuestos, dando cada vuelta en sentido opuesto a la precedente y a una distancia de seis metros.

Dada la mayor densidad de las disoluciones de sulfato cúprico, éste se difunde con gran rapidez en sentido vertical, mientras que escasamente lo hace horizontalmente. Para reducir al mínimo este inconveniente, que produce una mala distribución del tratamiento, se pueden utilizar barcas con motor, que favorecen con el movimiento de la hélice la difusión de la disolución de sulfato recién formada y el empleo de sacos muy tupidos, que impiden una disolución rápida. El tratamiento debe hacerse preferentemente en días ventosos, en los que la agitación del agua favorece la difusión. Para que la convección favorezca el proceso, debe hacerse por la mañana temprano.

Por el sistema indicado se pueden tratar hasta cuatro hectáreas de superficie líquida por hora, en los embalses pequeños, y cerca de doce en los grandes. Prácticamente, la cantidad necesaria es de 3 kilogramos por cada 1.000 metros cúbicos.

Se reduce el gasto a la mitad haciendo la distribución sobre la superficie con sulfato cúprico seco, ideada por Condey. Consiste en un disco de movimiento rotatorio, sobre el cual cae el sulfato cúprico pulverizado. Por la fuerza centrífuga lo lanza circularmente a distancias más o menos grandes, según el tamaño de las partículas y la velocidad del disco. Regulando ambas magnitudes se pueden obtener dispersiones de 6 a 8 metros a derecha e izquierda del bote donde se ha montado la instalación.

La distribución es uniforme y tiene además las ventajas de poderse aumentar la velocidad de la barca y eliminarse las operacio-

nes de llenar los sacos, inmersión de los mismos, etc., con lo que se ahorra la cuarta parte de tiempo.

La descomposición de los microorganismos destruidos por el sulfato cúprico produce un aumento del olor y sabor de las aguas, que desaparece al poco tiempo. Si el tratamiento ha sido adecuado, estos olores desaparecen antes de los tres días; si persisten al cabo de cuatro o cinco días, hay que suponer la existencia de focos que los produzcan en las redes de distribución, que deben ser tratadas con cloro.

BIBLIOGRAFIA

- Condey: "Sulfate scattered dry".—*J. Amer. Water Work Association*, 1936.
- Fair: "On the determination of taste and odor in water".—*J. Amer. Water Work Association*, 1933.
- Fair y Welles: "The air dilution method of odor determination".—*J. Amer. Water Work Association*, 1934.
- Hale: *J. Amer. Water Work Association*, 1932.
- Kirkpatrick: "The biologie of waterworks".
- Moore y Kellermann: "Copper as an algicide".—*J. Amer. Water Work Association*, 1905.
- Spaulding: "Quantitative determination of odor in water".—*Amer. J. Public health*, septiembre 1931.
- Taylor: "Algae".—*J. Amer. Water Work Association*, 1933.
- Whipple: "Microscopy of drinkind water", 1937.