

# Efectividad de una estación de tratamiento de agua potable con filtros de arena o carbón activo ante el fitoplancton causante de olores y sabores en el agua potable

José Luis Sánchez López

Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Director adjunto de la Mancomunidad de los Canales de Taibilla

*N. de la R.*

*José Luis Sánchez López, recientemente fallecido, fue un ilustre colaborador, en diversas ocasiones, de nuestra ROP. Por ello, al publicar el último artículo de él recibido, queremos rendir un cariñoso recuerdo a su memoria, en momentos en que los temas que él trataba tienen destacado interés.*

## RESUMEN

La calidad del agua suministrada es hoy factor básico en la calificación de un abastecimiento de agua potable siendo sus cualidades organolépticas las únicas percibidas por el consumidor para enjuiciar dicha calidad. Las duras exigencias de las normas y reglamentos vigentes en el mundo occidental contrastan con los procedimientos técnicos empleados para su cumplimiento. En el presente trabajo se ha estudiado el efecto sobre el fitoplancton (factor fundamental en las cualidades organolépticas) de una estación de tratamiento de agua potable, empleando dos variantes de filtros: arena o carbón activo. Las conclusiones obtenidas pueden hacer meditar al legislador en el momento de redactar los reglamentos que compendian las exigencias de todo tipo para que un agua sea considerada como potable.

## ABSTRACT

The quality of the water supplied is now a basic factor in the classification of any drinking water supply as its organoleptic qualities are the only ones by which the consumer may judge the quality of the same. The strict requirements of the rules and regulations in force in the western world are in contrast with the technical procedures employed to guarantee the same. In the present work a study has been made on the effect on phytoplankton (the fundamental factor in organoleptic quality) within a drinking water treatment plant when using two types of filters: sand and active carbon. The conclusions obtained may leave room for meditation when drawing up the regulations which establish all manner of requirements in order that a water be considered drinkable.

## INTROITO

La Mancomunidad de los Canales del Taibilla es un organismo autónomo dependiente del extinto Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente, antes de la nueva reorganización ministerial, y del de Medio Ambiente en la actualidad, cuya misión consiste en el abastecimiento de agua pota-

ble en red primaria o alta de los municipios mancomunados y entidades estatales incorporadas, realizando para ello el proyecto, construcción, explotación y gestión de cuantas obras e instalaciones son precisas. Son 76 los municipios abastecidos, perteneciendo 42 a la provincia de Murcia (todos menos 3), 32 a la de Alicante (más del 55% de su población) y 2 a la de Albacete, lo que significa una superficie total superior a los

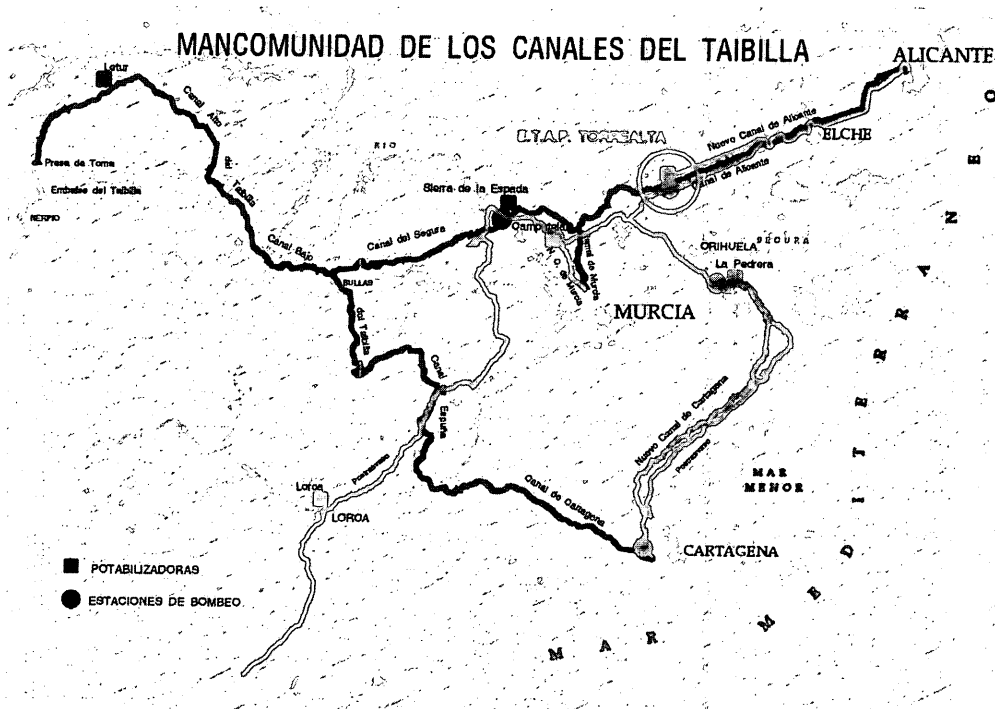


Figura 1.

11.000 km<sup>2</sup> y población de 1.700.000 habitantes que en verano excede ampliamente los 2.200.000 habitantes. Los caudales suministrados proceden del río Taibilla y del Trasvase Tajo-Segura, éstos últimos captados en las obras del Postrasvase de la Confederación Hidrográfica del Segura. Unos y otros sufren el correspondiente proceso de potabilización antes de introducirse en los canales encargados de su transporte. Para ello la Mancomunidad posee 6 estaciones de tratamiento con capacidad total de 16 m<sup>3</sup>/s.

En la fig. 1 se recoge de forma muy simplificada lo señalado hasta aquí, habiéndose destacado de forma especial la Estación de Tratamiento de Torrealta, por ser esta la planta en la que se han efectuado los diferentes procesos recogidos en este escrito. Torrealta abastece, entre otros, a núcleos tan importantes como Alicante, Elche, Orihuela y Torre Vieja, captando los caudales precisos en el Canal de la Margen Izquierda del Postrasvase.

A finales de 1992, durante el período de mínima circulación de caudales por el Canal citado y como consecuencia de un excesivo estancamiento y fuerte insolación tuvo lugar una eclosión anormal del fitoplancton presente en dicha agua originando, en algunos momentos, olores y sabores del agua tratada, causados por los productos resultantes del metabolismo del fitoplancton vivo y la descomposición del muerto. Eliminado rápidamente el problema se inició la sustitución parcial de la arena de filtros por carbón activo al considerarse como una de las soluciones más eficaces ante el problema de olores y sabores, de forma que pudo disponerse de baterías con uno u

otro material lo que ha permitido comparar su efectividad. Acabada la sustitución de un material filtrante por otro en Noviembre de 1995, no volvió a repetirse una nueva eclosión fitoplanctónica similar a la citada de finales de 1992. Tampoco han vuelto a repetirse los problemas de olores y sabores que aquel "bloom" algal originó.

Por ser interesantes en relación al tema que se estudia se recogen a continuación algunos datos que muy recientemente, abril de 1996, la revista americana Journal AWWA ha publicado como resultado de una encuesta realizada en 1989 por el AWWA Taste and Odor Committee empleando las respuestas de 377 grandes y medianas empresas americanas dedicadas al abastecimiento de agua (17). De ellas el 45% empleaba exclusivamente aguas superficiales y un 13% adicional estas aguas y otras de diferente origen.

Señalaba la encuesta que los gastos medios originados en la eliminación de olores y sabores ascendían a un 4,5% del presupuesto. Los principales olores detectados en el caso de aguas superficiales eran a cloro, tierras y pescado, considerando como causas inmediatas de los mismos el sistema de distribución, el desinfectante empleado (cloro) en el proceso de tratamiento y los "bloom" algales tanto en lagos como en embalses situados en cabecera del abastecimiento. Finalmente señalaba que los tratamientos más efectivos y más usados en U.S.A. son las fases de precloración, floculación, filtración, postcloración, oxidación con permanganato y PAC (powder activated carbon). De mucho menor empleo (solo el 8% de las empresas), pero con máxima eficacia, cita el GAC (granular activated carbon).

En las líneas que siguen se estudia la efectividad de dos fases (decantación, filtración) de una cadena tradicional de una estación de tratamiento de agua-potable (E.T.A.P.), comparando la eficacia de filtros según sean con lecho de arena o carbón activo.

### LA ESTACIÓN DE TRATAMIENTO DE TORREALTA

La estación de tratamiento de Torrealta trata el agua según un esquema totalmente convencional en el que pueden separarse las siguientes etapas: preoxidación, coagulación-floculación, decantación, filtración y desinfección.

La preoxidación tiene lugar empleando cloro, en dosis función de las características del agua bruta. Para la formación

del flóculo, en la segunda fase del proceso, se emplea como coagulante sulfato de alúmina (con dosis que no superan habitualmente los 40 mg/l). El sistema de decantación es por recirculación de fangos existiendo una superficie total de 2.566 m<sup>2</sup> y apareciendo velocidad máxima de 3,38 m/h. Los filtros inicialmente eran a base de lecho de arena, con superficie total de 1.010 m<sup>2</sup> y velocidad punta de 8,59 m/h. Según se ha señalado anteriormente se ha ido sustituyendo, paulatinamente, el material filtrante por carbón activo, de forma que en este momento todos emplean este material. El proceso termina con la desinfección que se realiza con cloro. La planta puede tratar en este momento un caudal máximo de 2,41 m<sup>3</sup>/s., estando próximas a terminar las obras de ampliación que incrementarán su capacidad máxima hasta 5,28 m<sup>3</sup>/s. La población que abastece supera el medio millón de habitantes.

El agua a tratar es de características bastante variables pues puede proceder, según la época del año, de los embalses Fuensanta y Cenajo en la cuenca alta del río Segura, o del Trasvase Tajo-Segura a través de los embalses Entrepeñas-Buendía (en el Tajo), Alarcón, (Júcar), Talave y Camarillas (Mundo) y Ojós (Segura). En el cuadro nº 1 se recogen los parámetros más significativos del agua bruta con sus valores extremos en los momentos de realización de ensayos.

### **EL PROBLEMA DE LOS OLORES Y SABORES EN EL AGUA POTABLE**

En principio el proceso seguido en una E.T.A.P. debe perseguir que el producto final cumpla rígidamente las especificaciones fijadas en la normativa del país de que se trate. En lo que a olores y sabores se refiere no existe excepción a la regla.

**CUADRO Nº 1**

Parámetro	Unidades	Valores	
		Máximo	Mínimo
Temperatura	° C	26	12
pH	-	8,1	7,9
Conductividad	(s.cm-1)	1.533	839
Sulfatos	ppm.	450	145
Cloruros	ppm.	220	103
Nitratos	ppm.	7,3	3
Nitritos	ppm.	0,35	0
Fósforo	P205 (ppm)	0,45	0,1
Turbiedad	NTU	80	6
Materia en suspensión	ppm.	70,8	15,2
Materia orgánica	ppm.	4,96	2,35
Color	mg/l Pt-Co	40	10
Olor	N.U.O. (12°,25°)	1-2	0-1

Las diferentes causas que pueden originar problemas de este tipo en el agua potable, recogidas en distintos apartados de nuestra Reglamentación, se agrupan de la siguiente forma (14):

a). Causas naturales. Aparecen sin intervención de ningún tipo del ser humano. Pueden ser:

▼ a.1. De origen mineral. Pueden producirse olores y sabores por la existencia de determinados elementos (hierro, manganeso etc) o compuestos (sulfhídrico etc) en concentraciones superiores a ciertos límites que la reglamentación española fija en su Anejo B.

▼ a.2. De origen orgánico. Aparecen como consecuencia de arrastres de agua de lluvia y por el crecimiento de plancton y en particular de algas microscópicas (fitoplancton), unos y otros limitados en los Anejos C y E de nuestra normativa.

b) Causas humanas. Son las originadas por la actividad humana independiente de su naturaleza.

▼ b.1. Actividad urbana. La descomposición de las sustancias orgánicas presentes en las aguas residuales vertidas originan el problema. Su presencia pretende controlarse en el Anejo E de la Reglamentación.

▼ b.2. Actividad industrial. Aquí quedarían incluidos todos los vertidos industriales. Fundamentalmente se controlan por los Anejos C, D y E de la Reglamentación española.

▼ b.3. Actividad agrícola. El tratamiento con herbicidas, pesticidas etc. origina su posterior incorporación a las corrientes superficiales en forma de vertidos puntuales o (lo que suele ser más frecuente) difusos. A ellos se refiere el Anejo D.

c) Causas derivadas del tratamiento. Originadas por los diferentes reactivos que pueden emplearse en el tratamiento de potabilización como coagulantes (sulfato...), desinfectantes (cloro...) etc.

Las causas incluidas en el apartado b) aparecen como consecuencia de una contaminación del agua. Las del grupo c) quedan bajo el control de los explotadores de las plantas de tratamiento. Por el contrario las del grupo a) son única y exclusivamente debidas a la acción de la naturaleza, independientemente de que la actividad humana puede originar efectos similares acelerados (eutrofización cultural, etc).

El desarrollo masivo de fitoplancton, bien en forma endémica a la que corresponde la eutrofización de la masa de agua o epidémica como es el "bloom" algal puntual en el tiempo, origina inevitablemente graves problemas de olores y sabores. Su presencia en menores cuantías puede originarlas o nó. Sin embargo las actitudes frente a esta presencia de algu-

nas normativas (entre ellas la española) es totalmente rigurosa. La Reglamentación Técnico Sanitaria recoge textualmente:

- “Por otro lado, las aguas no deberán contener:
- ▼ Ni organismos parásitos.
  - ▼ Ni algas.
  - ▼ Ni otros elementos figurados (animálculos)”.

No hace falta comentario alguno acerca de la severidad de la norma. De cualquier forma dado que la Reglamentación a que se hace referencia es una mera transcripción de la Directiva 80/778/CEE de 15 de Julio de 1980 relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano, se ha de concluir que la severidad dimana de la norma europea. No hacen lo mismo otras reglamentaciones de naciones europeas. Así Francia o Inglaterra no recogen referencia alguna a la presencia o ausencia de algas. Podría parecer justificado al quedar controlado el tema de olores y sabores por la limitación del orden de dilución, sin embargo quizá sea más correcto regular el problema del fitoplancton de forma un poco más particular.

Parece que la reglamentación española y la directiva europea pecan de rigurosas al imponer la ausencia total de fitoplancton, sobre todo si se piensa que (salvo en contadas ocasiones) puede considerarse inocuo en pequeñas concentraciones y que un tratamiento convencional no va a eliminar el 100% y, aún más, un tratamiento de afino (ozono, carbón activo) tampoco garantiza ese 100% de efectividad normativo. ¿Que ocurre, entonces?. La norma se olvida y, de forma tácita, queda aceptado su incumplimiento.

Independientemente de lo anterior lo que es cierto es la aparición de olores y sabores ante la presencia de pequeñas concentraciones de ciertas especies, originadas por la actividad metabólica del alga. Este aspecto sí se contempla en todas las normas nacionales (europea, española, inglesa, francesa ..) y con criterios totalmente concordantes. Así la Directiva citada antes recoge que el olor, expresado en índices de dilución, presentará una concentración máxima admisible de 2 a 12°C y 3 a 25°C. Por tanto el proceso de tratamiento ha de lograr un producto final que cumpla la anterior exigencia.

Las consideraciones que anteceden conducen a una reflexión interesante: no tiene sentido pensar que para asegurar la potabilidad del agua una E.T.A.P. debe eliminar un porcentaje determinado del fitoplancton (100% en España) y ello con independencia de su cuantía, pues una efectividad del 99,995% (prácticamente inalcanzable) implica que el agua tratada contendrá un 0,005% de las células presentes en el agua bruta. No existen trabajos en que se relacione la presencia de fitoplancton (por especie, géneros o grupos de características comunes como oloroso o nó) expresada p.e. en células/m.l., con los umbrales de olor admitidos en la normativa. Pero es evidente que esta relación puede existir. Y podría escribirse el umbral de olor (u.o) como una función del número de unidades

o células por unidad de volumen (u), de la temperatura (t), etc. Es decir, para cada especie, podría escribirse:

$$u.o = f(u, t, \dots) \dots\dots\dots (a)$$

Dado que los umbrales de olor están fijados la relación expresada por la ecuación (a) implicará que, según la temperatura del agua tratada, el número máximo de células (unidades) admisible en dicha agua será un valor determinado, valor que va a fijar automáticamente el rendimiento a obtener en la E.T.A.P. como directamente dependiente del número de células presentes en el agua bruta. Si se llama:

- $n_o$  : número de células presentes en el agua bruta.
- $n_f$  : número de células en el agua tratada..
- $e$  : efectividad del proceso, % de retención.

puede escribirse que:

$$n_f = n_i - \frac{e}{100} n_i = n_i (1 - 0,01e)$$

Si u es el máximo número de células obtenido de (a) deberá cumplirse que:

$$u \geq n_f = n_i (1 - 0,01e) \text{ ó bien:}$$

$$e \geq 100 \left( 1 - \frac{u}{n_i} \right)$$

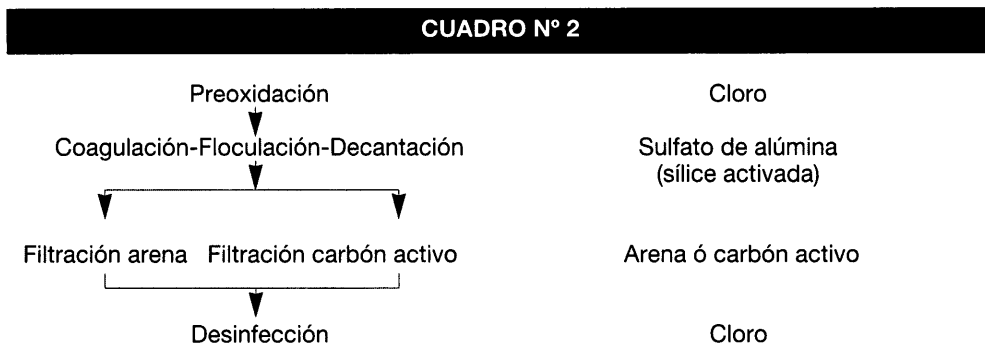
Dado el umbral de olor (el máximo número de célula) y el fitoplancton presente en el agua bruta puede ponerse su relación  $i = u/n_i$  y por tanto la efectividad de la planta

$$e \geq 100 (1 - i) \dots\dots\dots (b)$$

Esta expresión fijaría, teóricamente, la efectividad precisa en la eliminación del fitoplancton por una E.T.A.P. para que no se produjeran, por su presencia, problemas de olores y sabores.

Existen ensayos que definen la efectividad según el tipo de proceso y la especie presente, siempre en laboratorio ya que en el proceso real no se presenta una especie aislada sino un conjunto de ellas produciéndose las inevitables interferencias en el proceso de tratamiento. En apariencia no cabría hablar de umbrales de olor o efectividades para una especie aislada por responder a una situación ficticia, pero tampoco es totalmente falsa esta situación. Aunque en el proceso real aparecen en el agua bruta varias especies es muy frecuente que haya una gran mayoría de una, dos ó tres especies, con lo que la mutua influencia puede quedar muy disminuida (nunca anulada) y los ensayos de laboratorio vuelven a adquirir mayor interés. Si se estudiaran las relaciones directas con ciertas especies aisladas en laboratorio y, después, idénticas relaciones en

presencia minoritaria de otras especies (ya en plantas) se podrían obtener coeficientes correctores a aplicar a los ensayos de laboratorio, según el contenido fitoplanctónico del agua bruta, que corregirían la fórmula (b) antes recogida.



**EFFECTIVIDAD EN CADA FASE DEL PROCESO**

El primer objetivo de los ensayos efectuados durante el período de estudio (mayo 1994-noviembre 1995), en el que estuvieron en servicio simultáneamente filtros con lecho de arena y de carbón activo, consistió en determinar la efectividad del proceso seguido en la E.T.A.P. siguiendo las dos cadenas posibles para el agua. Estas dos cadenas eran las reflejadas en el Cuadro 2.

**a) Contenido del agua bruta.**

El número de células halladas presenta a lo largo del período estudiado dos "bloom" algales, empleándose ahora este término de forma relativa pues el recuento total arroja, en el momento de máxima presencia, un número que no alcanzaba las 6.000 células/m.l., muy inferior a cualquier situación eutrófica del agua. Ambos máximos se produjeron en los veranos de 1994 y 1995, como corresponde al tipo de fitoplancton encontrado.

En ningún momento el fitoplancton presente afectó al funcionamiento correcto de decantadores ó a la carrera de los filtros por una rápida obstrucción. Así debía de ser al encontrar-

se la máxima concentración algal hallada (julio 1995: 5.640 células/m.l.) muy lejos de las 35.000 células/m.l. que ha marcado el umbral para el correcto trabajo de decantadores en los escasos trabajos efectuados sobre el tema (6).

La relación de todos los géneros hallados, independientemente de su frecuencia, es la siguiente: *Synedra*, *Cyclotella*, *Diatoma*, *Asterionella*, *Fragilaria*, *Tabellaria*, *Scenedesmus*, *Chlorella*, *Ulotrix*, *Pediastrum*, *Actinastrum*, *Oscillatoria*, *Anabaena*, *Anacystis*, *Chlamydomona*, *Euglena*, *Navícula*, *Nitzschia*, *Cymbella*, *Ankistrodesmus*, *Coelastrum*, *Selenastrum* y *Oocystis*.

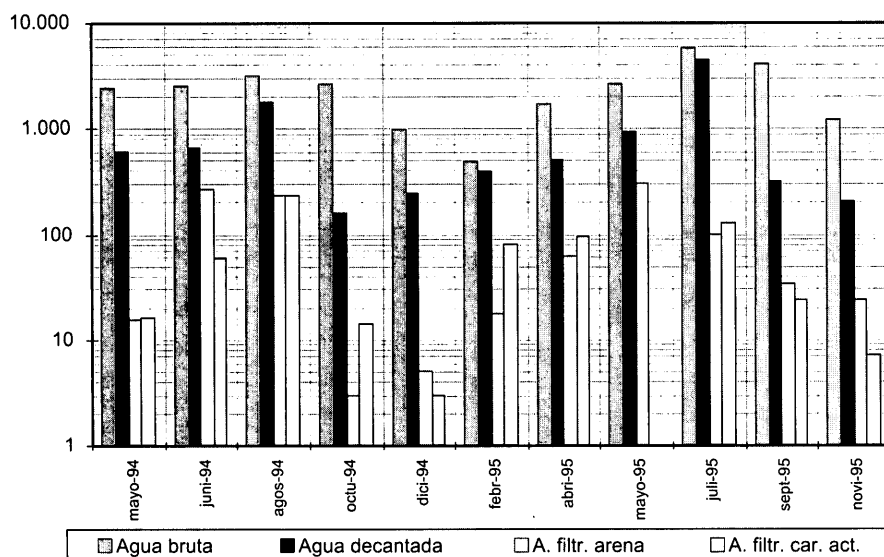
En el gráfico 1 aparecen las células presentes en cada una de las mediciones efectuadas.

**b) Reducción en decantación.**

En todos los casos, excepto en dos, la salida de decantación arroja un recuento total inferior a los 1.000 c/m.l., llegando en otras dos ocasiones a estar por debajo de los 200 c/m.l. El comportamiento es paralelo al hallado en el agua bruta a excepción de la determinación de febrero del 95, coincidente con el mínimo en agua bruta. Se observa que en la decantación se han obtenido efectividades variables entre un 20% y un 90%, coincidiendo ambos extremos con el mínimo de células en agua bruta y el máximo. Parece que puede fijarse como normal una efectividad entre el 50% y el 85%.

En el gráfico 1 aparecen las células encontradas en el agua decantada a lo largo del período. En el gráfico 2 las efectividades de la decantación (en % referido al recuento del agua bruta) y las células totales en agua bruta, también a lo largo del período de ensayos para poder verificar el paralelismo o discrepancia entre estas y aquellas. No parece que exista una relación entre la eficacia de la decantación y el número

**Gráfico 1. Número total de algas en cada fase del proceso.**



de células presentes en el agua bruta, al menos para concentraciones algales comprendidas entre 500 y 6000 células/mililitro, valores extremos en los ensayos efectuados.

Las dosis de coagulante y coadyuvante empleadas en la E.T. Torrealta corresponden, en cada momento, a las de máxima eficacia de acuerdo con las características del agua. Se determinan de forma ininterrumpida con las menores variaciones en los parámetros del agua mediante el Jar-Test. La experiencia adquirida a lo largo de los años permite identificar las dosis elegidas con las que corresponden a potencial zeta nulo.

**c) Reducción en filtración.**

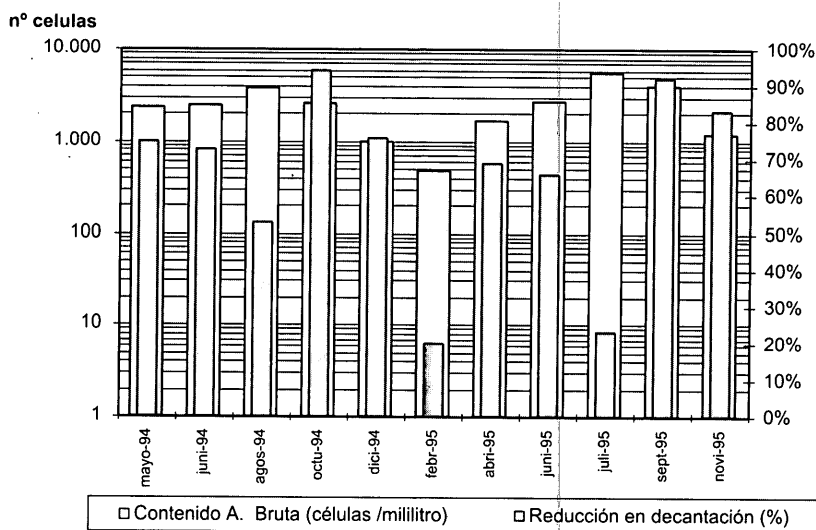
Aunque los resultados de ambos lechos filtrantes han sido similares hay que señalar una mayor eficacia en los de carbón activo que arrojan un valor medio de salida de las once mediciones de 59 c/m.l. frente a las 95 del lecho de arena. Sin embargo es necesario señalar que en 3 determinaciones han dado mejores resultados los filtros de arena, en otras 6 los de carbón activo y 2 igual. Pueden resumirse estos resultados en el cuadro 3.

Mientras en el gráfico 1 queda recogido el número de células presentes en el agua filtrada a lo largo del período en el nº 3 aparece la efectividad (en %) de uno y otro lecho filtrante acompañado de la concentración algal en el agua decantada, base de referencia para obtener el % de efectividad.

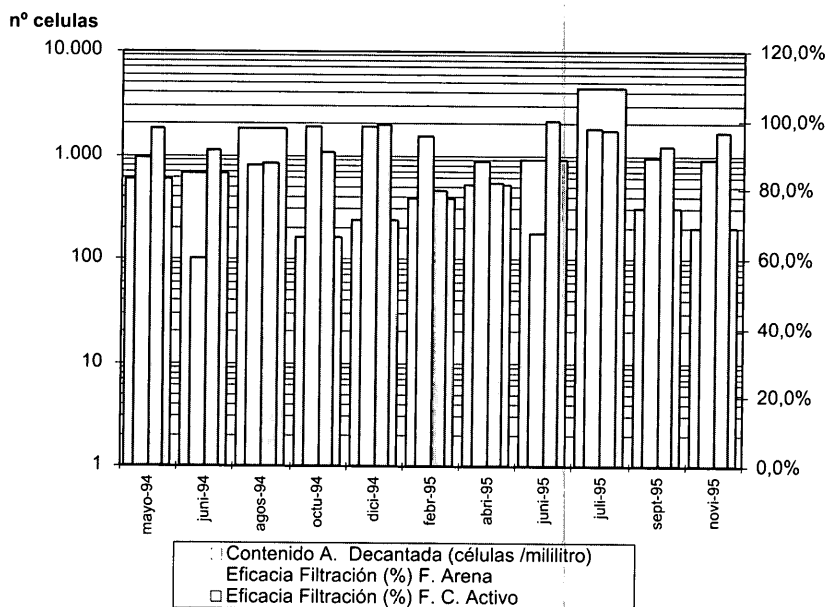
Como síntesis de todo lo anterior se recoge en el gráfico 4 las efectividades de cada fase en las diferentes pruebas efectuadas.

**d) Reducción total en el proceso.**

Como se ha señalado en el apartado anterior la máxima eficacia se logra empleando filtros de carbón activo que en las mediciones de mayo 95 arrojaron una efectividad del 99,89% al detectarse una única célula por mililitro en el agua filtrada. El peor rendimiento apareció en el mismo mes al contabilizarse, esta vez en la arena, una eficacia del 61,20%. Estos valores aumentan significativamente cuando se refie-



**Gráfico 2. Eficacia de la decantación.**



**Gráfico 3. Eficacia de la filtración.**

**CUADRO Nº 3**

Recuento de células en el agua filtrada (c/m.l.)				
Valor	Nº de células/m.l.			
	F. Arena		F. carbón activo	
	nº	%	nº	%
Máximo	301	38,8	128	2,9
Mínimo	3	1,9	1	0,11
Medio	95	10,3	59	6,4

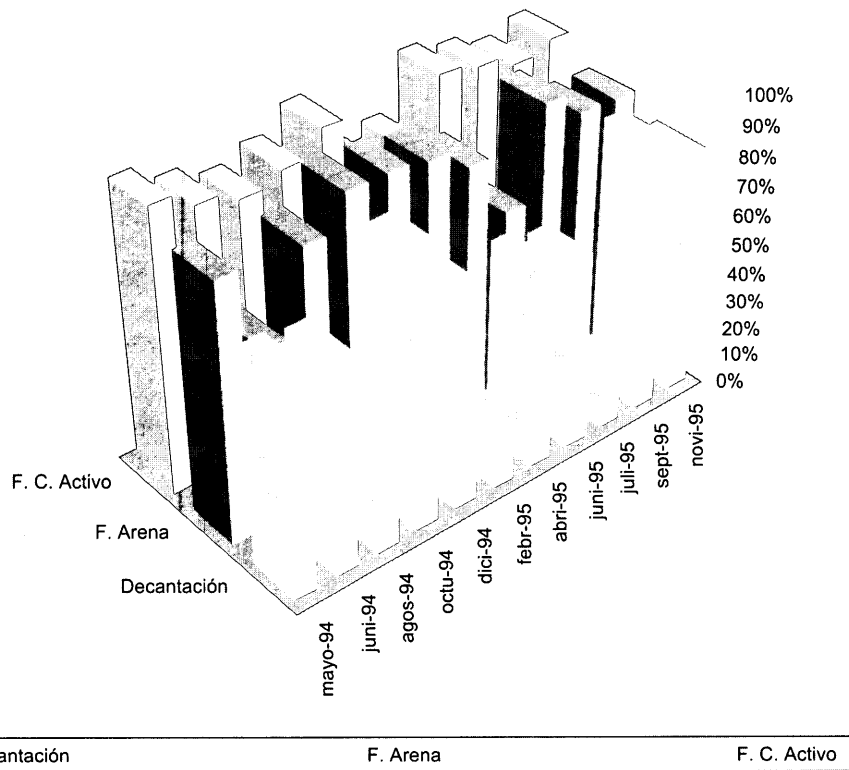


Gráfico 4. Eficacia de cada fase del proceso.

re al número de células en el agua bruta, es decir cuando se expresa el rendimiento total del proceso.

La mayor eficacia se logra en el carbón activo, alcanzándose el 99,96% de eficacia y superando el 99% en 6 ocasiones. El mínimo corresponde al lecho de arena con un 88,70%.

Los bajos rendimientos totales del proceso en aquellas ocasiones en que no se alcanzó el 90% (febrero 95 para el carbón activo y junio 94, mayo 95 para el lecho de arena) pueden obedecer a hechos aislados como el arrastre instantáneo de pequeñas retenciones algales del filtro. Debe observarse, sin embargo, que si la explicación es la señalada u otra de naturaleza similar no debe considerarse como una anomalía de difícil repetición. Por el contrario parece más lógico aceptar que en el proceso industrial a diferencia de los ensayos de laboratorio, no debe considerarse totalmente excepcional esta ocurrencia, ni eliminarse por aparecer como una dispersión anómala en los datos estadísticos, si bien el buen funcionamiento del proceso exige que su presentación sea menor que una dada.

La reducción total en el proceso, referida por tanto al contenido del agua bruta, aparece en el gráfico 5.

### COMPORTAMIENTO DEL FITOPLANCTON CAUSANTE O NO DE OLORES Y SABORES

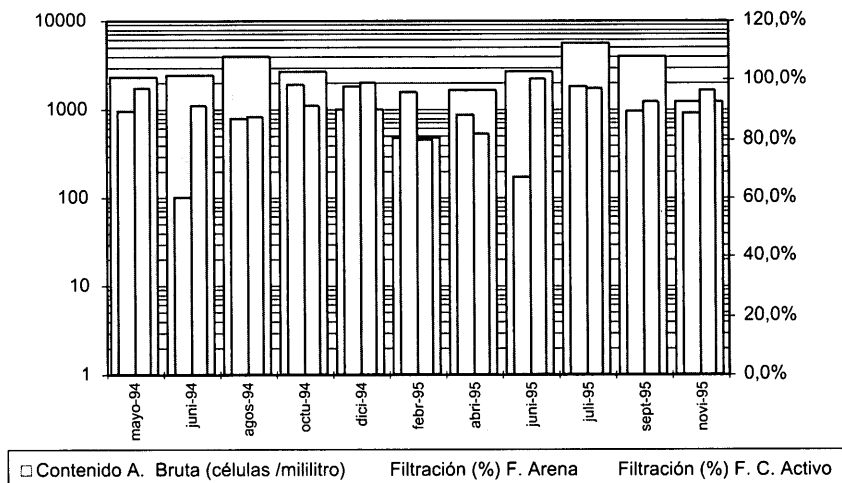
Aunque, como ya se indicó antes, algunas de las causas productoras de olores por parte del fitoplancton no admiten ningún tipo de distinción (descomposición de la materia orgánica p.e.), otras, como la producción o no de sustancias odoríferas durante el proceso vital sí que la admiten. Existen, en efecto, especies cuya presencia va acompañada por olores característicos, otras que no.

A lo largo del período de pruebas las especies odoríferas detectadas han sido las relacionadas en el Cuadro N° 4.

#### a) Contenido del agua bruta.

Aunque con predominio de las algas odoríferas el reparto es bastante uniforme entre uno y otro grupo. El máximo de algas olorosas aparece en setiembre 95 con el 81,75% del total y el mínimo en Abril 95 con un 23,07%, el valor medio es del

Gráfico 5. Reducción total en el proceso.



53,4% quedando el 46,6% para las no olorosas. Valores muy similares. En el gráfico 6 aparecen los células olorosas y no olorosas a lo largo del período.

**b) Reducción en decantación.**

Los valores máximo, mínimo y medio para cada uno de los dos grupos señalados son los reflejados en el cuadro 5.

Contrasta el valor medio de la efectividad (olorosas : 75%, no olorosas: 54,73%) con los porcentajes de presencia en el agua bruta (53,4% y 46,6%).

Parece que el grupo de las olorosas sufre una mejor retención durante la fase de decantación lo que puede llevar a admitir la formación de un flóculo mejor y por tanto a plantear si los productos metabólicos odoríferos desprendidos actúan, aunque sea parcialmente, como floculantes o coadyuvantes a la floculación.

**c) Reducción en filtración.**

En el cuadro 6 se recogen los valores extremos para uno y otro grupo según el material filtrante.

Se ve una diferencia entre 2,5% y 3,6% (carbón activo y arena respectivamente) a favor de las algas olorosas, lo cual no parece ser muy significativo.

**d) Reducción en el proceso total.**

Considerando el proceso total el cuadro anterior puede ponerse de la forma reflejada en el cuadro 7.

Refiriéndonos al proceso total la diferencia entre emplear lechos de arena o de carbón activo queda patente comparando el % de ocasiones en que se ha superado el 99% de eficacia con uno u otro procedimiento. Estos porcentajes son los siguientes reflejados en el cuadro 8.

El cuadro 8 es totalmente expresivo de la mayor eficacia del filtro de carbón activo frente al fitoplancton independientemente de su carácter de odorífero o no.

Los datos anteriores aparecen en el gráfico nº 7.

**ALGAS DE MÁXIMA ELIMINACIÓN**

Se logra máxima eficacia (100%) en los filtros de arena o carbón activo en determinadas algas lo que podría llevar a pensar que algunas características de las mismas fueran causantes de esa máxima eficacia. En el cuadro 9 se relacionan las mismas con la forma, tamaño y cualidad de odorífera o no.

Se han elegido los tres factores citados por ser los que con mayor frecuencia se consideran, en la literatura especializada, determinantes de la eficacia del tratamiento. Los tres podrán condicionar la formación de un flóculo correcto y por tanto permitir una buena decantación.

**CUADRO Nº 4**

Especie	Olor Característico	Presencias sobre 11
Synedra Ulna	Tierra-moho	10
Cyclotella Mereghiniana	Geranio-pesado	7
Diatoma Vulgare	Aromático	5
Asterionella Gracillina	Aromático-pescado	1
Fragillaria Crotonensis	Geranio-moho	2
Tabellaria Fenestrato	Geranio-moho	2
Scenedesmus Quadricanda	Herbáceo	10
Chlorella Vulgaris	Moho	10
Ulotrix Aequalis	Hierba-moho	7
Pediastrum Boryanum	Herbáceo	6
Actinastrum Gracillirum	Hierba-moho	5
Oscillatoria	Hierba-moho	5
Anabaena	Pocilga	5
Anacystis Cyanea	Pocilga	3
Chlamydomona Reinhardi	Pescado	4
Euglena Viridis	Pescado	7
Eudorina Elegans	Pescado	1

**CUADRO Nº 5**

	Reducción (%)		Media
	Máxima	Mínima	
Olorosas	94,34	25,37	75,00
No olorosas	93,58	14,94	54,73

**CUADRO Nº 6**

	Efectividad filtración (%)					
	Máximo		Mínimo		Medio	
	Arena	C. Activo	Arena	C. Activo	Arena	C. Activo
Olorosas	100	100	60	70	90,5	92,5
No olorosas	96,8	100	52	79,7	86,9	90,5

**CUADRO Nº 7**

	Efectividad total (%)					
	Máximo		Mínimo		Medio	
	Arena	C. Activo	Arena	C. Activo	Arena	C. Activo
Olorosas	100	100	91,38	94,78	97,87	98,93
No olorosas	99,77	100	59,30	76,39	92,42	96,78

**CUADRO Nº 8**

	Arena	C. Activo
Olorosas	45,5	72,7
No olorosas	9,1	45,5
Totales	27,3	54,5

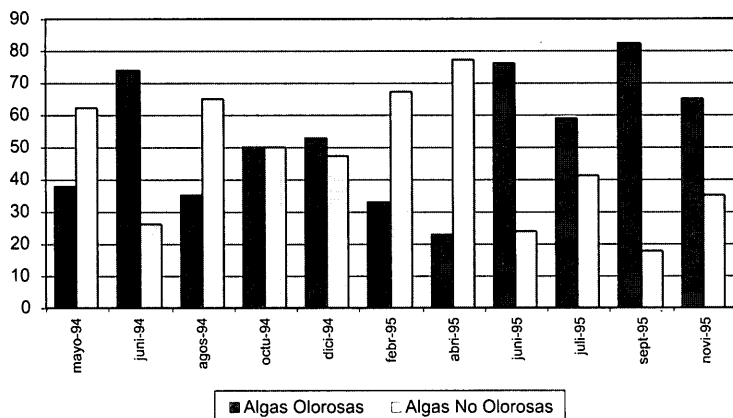


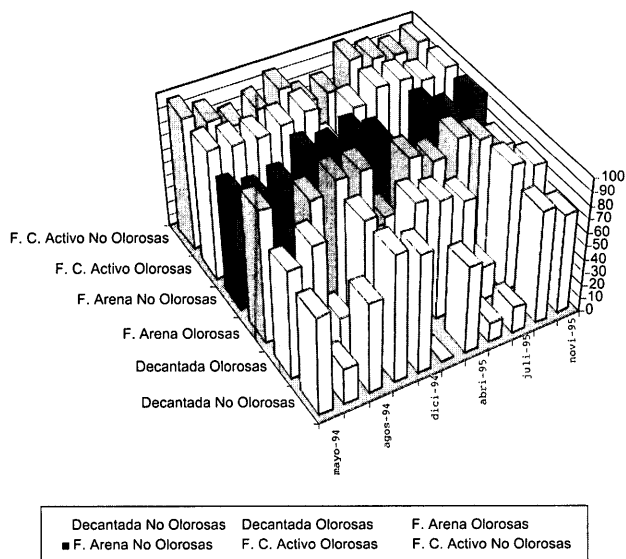
Grafico 6. Contenido de algas olorosas y no olorosas del agua bruta.

La forma influirá por cuanto la esférica parece aproximarse al máximo a la de la partícula coloidal, admitiéndose que a mayores divergencias con ella aparecerán más dificultades en la formación del floculo correcto (3) (4). Características negativas adicionales para este factor serán la existencia de puas, espinas, flagelos etc. Como despues se señala este factor no ha parecido indicar acción especial alguna sobre las eficacias del proceso.

El segundo factor citado es el tamaño. Los tamaños mayores parecen presentar mayores dificultades por ser más difícil su incorporación al interior del flóculo (4). Cabe indicar, de los ensayos efectuados, algo similar al factor anterior de la forma.

Finalmente, en relación al caracter de odoríferas o no, en algunas ocasiones se ha detectado como negativo este carácter. Como se repite varias veces, en los ensayos efectuados

Grafico 7. Eficacia de cada fase del proceso sobre algas olorosas y no olorosas.



cabe indicar que este factor aparece más bien como positivo, ya que se ha observado mayor facilidad de decantación en las algas odoríferas.

A excepción de Anabaena y Cymbela todas las células analizadas son menores o igual a 100(, y la forma varía desde acicular hasta esferoideal. De las 8 que han presentado una retención 100% 7 son olorosas y 1 no, lo que parece indicar que los productos derivados del metabolismo causante de los olores pueden estar actuando como coadyuvantes en la formación del flóculo. Este hecho ya se comentó anteriormente al comparar el grado de eficacia del proceso frente al fitoplancton odorífero o no. Las ocasiones en que se ha logrado una efectividad máxima parece confirmar aquella suposición. De cualquier forma es necesario resaltar un

hecho que puede ser factor importante: de las especies expuestas la máxima presencia fué de 6 ocasiones (una sola, Cyclotella), siguiendo 5 (una sola, Actinastrum), 4 (una sola Cymbela) etc., lo que significa que su influencia sobre el fitoplancton total presente es pequeña, aunque no lo fuese en olores y sabores pues éstos están más condicionados por la calidad que por la cantidad de las células.

Excepción hecha, pues, del caracter odorífero los demás factores analizados (forma y tamaño) no parece que hayan in-

CUADRO Nº 9

Alga	Nº Presencias	Total proceso	
		F. Arena	F. C. Activo
Cyclotella	6	100,0	99,8
Tabellaria	2	100,0	100,0
Actinastrum	5	100,0	100,0
Anabaena	2	100,0	100,0
Eudorina	1	100,0	100,0
Cymbela	4	100,0	100,0
Asterionella	1	100,0	100,0
Fragilaria	3	100,0	100,0

Las características básicas de tamaño, forma, olorosa o no son:

Alga	Tamaño (µ)	Forma	Olorosa o no
Cyclotella	20	Discoidal	Si
Tabellaria	80	Acicular	Si
Actinastrum	40	Acicular	Si
Anabaena	280	Cinta	Si
Eudorina	100	Esferoideal	Si
Cymbela	180	Cinta	No
Asterionella	80	Acicular	Si
Fragilaria	60	Acicular	Si

fluido en la bondad de la decantación y finalmente del proceso.

## CONCLUSIONES

De cuanto antecede parece que puede concluirse como primera y más importante consecuencia que la exigencia impuesta en la actual norma española sobre agua potable, acerca de la ausencia total de fitoplancton, no se cumplirá en la mayor parte de los abastecimientos españoles y es fácil imaginar que en la mayor parte de los abastecimientos del mundo. Aquí cabe preguntar si los abastecimientos españoles incurrir en defecto o si el defecto habría que achacárselo a la norma española y, por ende, a la directiva europea de la que se ha traspuesto.

En lo que se refiere a la cadena tradicional de una E.T.A.P. y a la efectividad comparada de los filtros con lecho de arena y de carbón activo, siempre en la hipótesis de concentraciones fitoplanctónicas inferiores a 5.700 c/m.l., puede concluirse lo siguiente:

- ▼ a) Un proceso de decantación con recirculación de fangos presentará una efectividad de eliminación comprendida entre el 20 y el 90%. Lo más frecuente responderá a un abanico más estrecho entre el 50% y el 85%. La dispersión será, normalmente, alta.
- ▼ b) Como consecuencia general el filtro de carbón activo es más efectivo que el de arena, habiéndose logrado una eficacia máxima del 99,89% en el primero frente al 98,1% en el segundo. El mínimo en carbón activo es de 97,7%, y 88,7% en arena.
- ▼ c) La efectividad total en el proceso se eleva a valores del 99,96% si se trata de lecho de carbón activo y de 99,89 si de arena. No parece aceptable referirse a efectividades del 100% con un proceso tradicional y muy difícilmente (de forma continua) aun con la fase de afino.
- ▼ d) De las tres variables analizadas en las especies de máxima eliminación solo el carácter de odorífera parece ser favorable en el proceso de tratamiento, en contraposición a los resultados de otros trabajos.

## AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento al Jefe del Servicio de Tratamiento e Instalaciones Mario Urrea Mallebrera y al Jefe de la E.T.A.P. Francisco Ubero Martínez. De forma muy especial a los Analistas Antonio Sáez Martínez y Miguel Angel Hernández Rodríguez por su labor de identificación y recuento y sin cuya colaboración no podría haberse realizado este trabajo. Todos ellos de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) Benoufelle F. y otros. Elimination de trois especes d'algues de type cyanobacteries par un procede d'ozoflottation. TSM, 10. 1995.
- (2) Bernazeau, F. y otros. Traitement des problemes de toxines generees par les algues. TSM., 10, 1995.
- (3) Bernhardt H, Clasen J. Flocculation of micro-organisms. Aqua, 1991.
- (4) Bernhardt H. Studies of the treatment of eutrophic water.
- (5) Bonnelye V. y otros. Elimination des algues planctoniques: efficacite des filieres modernes de traitement. TSM. Octubre 1995.
- (6) Carbonnier F., Nauleau F. Traitement des algues: detection des blooms. Elimination per clarification. TSM., 10, 1995.
- (7) CEE. Directiva del Consejo relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano. (80/778/CEE).
- (8) Couté A. Diversité chez les microalgues. TSM., nº 1, 1995.
- (9) Chevalier M.R. y otros. Influence d'un "bloom algal" sur les performances de l'ultrafiltration. TSM., 10, 1995.
- (10) González Ramos, M.E. Fitoplancton y eutrofia. Ingeniería civil, noviembre 1991.
- (11) Gomelle C., Guerree H. Tratamiento de agua para abastecimiento público. Edit. Técnicos Asociados. S.A. Barcelona 1977.
- (12) Mervin Palmer C. Algas en abastecimientos de agua. Edición Interamericana S.A.
- (13) Nadot J. Etude et traitement d'un probleme orgoleptique survenu a l'usine de production des eaux d'alimentation de Mathay lors de l'été 1984. TSM, 1995.
- (14) Reglamentación técnico sanitaria para el abastecimiento y control de calidad de las aguas potables de consumo público en España.
- (15) Richard Y, Dalgan. Preozonation related to algae removal. A case history: the plant of Mont-Valerian. International Clore 1993.
- (16) Richard Y, Riizet M. Efficacite comparee de plusieurs chaines de traitement vis a vis de l'elimination des algues.
- (17) Suffet I.H. y otros. AWWA taste and odor survey. JOURNAL AWWA, Abril 1996.
- (18) Tetlon J.A. y otros. Experience in the control of eutrophic water supply reservoirs in Eastern England by chemical treatment.
- (19) Thebault L., Lesne J. Les toxines des cyanobacteries: quels risques pour la santé?. T.S.M. Diciembre 1995.
- (20) Torres M., Medina J.A. La calidad del agua y las membranas semipermeables. Ingeniería Civil, 1986.
- (21) Welte B., Montiel A. La preozonation couplée avec un traitement de flottation-filtration: un succes pour eliminer les algues. TSM. 10, 1995. ■