

UNA CLASIFICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE CONTROL DE LA CALIDAD DEL AGUA EN EL ÁMBITO DE LA CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL JÚCAR: EL CASO DE LOS SULFATOS*

Beamonte, E.⁽¹⁾
Bermúdez, J.⁽²⁾
Casino, A.⁽³⁾
Veres, E.⁽⁴⁾

E-MAIL: (1) Eduardo.Beamonte@uv.es; (2) Jose.D.Bermúdez@uv.es; (3) Alejandro.Casino@uv.es y (4) Ernesto.Veres@uv.es

INSTITUCIÓN: (1), (3), (4) Departamento de Economía Aplicada y (2) Departamento de Estadística e Investigación Operativa. Universitat de València

Resumen

El ión sulfato es uno de los parámetros químicos utilizados para la determinación de la calidad del agua prepotable, presentando uno de los peores comportamientos en las aguas controladas por la Confederación Hidrográfica del Júcar. Este trabajo clasifica las estaciones de control de la calidad del agua prepotable dependientes de dicha Confederación, atendiendo a los valores medidos para dicho ión, a lo largo del período comprendido entre marzo de 1994 y abril de 2002, que es el de referencia de los datos utilizados.

* Agradecemos a la Confederación Hidrográfica del Júcar la disponibilidad de la información utilizada.

1. INTRODUCCIÓN

Son dos las fuentes principales de contaminación de las aguas superficiales. Por una parte, la contaminación natural o disolución y arrastre de sustancias que son propias de los terrenos por los que previamente han circulado las aguas; por otra, la contaminación artificial generada por la propia actividad humana, urbana, agrícola e industrial. Sobre ambas influye el caudal circulante o hidraulicidad de los ríos, en cuanto que los estiajes o las riadas y avenidas producen variaciones en la composición del agua en un mismo punto del cauce de los mismos. Cualquier análisis químico-biológico de las aguas manifiesta en sí mismo el efecto conjunto de las dos contaminaciones anteriores, sin que resulte posible, en la mayoría de ocasiones, separarlas e identificarlas plenamente. De ahí la importancia que tiene el definir un concepto de calidad del agua que permita efectuar una abstracción total, tanto del origen como de los efectos de una determinada hidraulicidad, y que resulte de su composición en sí misma.

Además, una calidad determinada ha de hacer referencia a un uso del agua también preestablecido, presentando cada uno de ellos requerimientos específicos (Poch, 1999). La clasificación de usos del agua más usual es la que distingue entre las aguas prepotables, piscícolas y para el riego. El presente trabajo se centra en el primero de los empleos citados.

Para el agua prepotable, las Directivas 75/440/CEE y 79/869/CEE (Ministerio de Medio Ambiente, 1998) relacionan un conjunto de características físico-químicas y biológicas -parámetros, en terminología administrativa- para medir su calidad (Chapman, 1992). Una de ellas es el ión químico sulfato. Este parámetro no es de los más importantes a la hora de definir la calidad del agua prepotable -el agua con altas concentraciones de este ión es admitida para su potabilización cuando no existan aguas más aptas para su consumo-, en cuanto que es uno de los aniones menos tóxicos (Arthur D. Little, Inc., 1971). El principal efecto nocivo está relacionado con el gusto, al conferir al agua el típico y molesto sabor sulfuroso. Efectos fisiológicos más importantes en la población adulta -diarreas, deshidratación, irritación gastrointestinal, etc.- exigen altas concentraciones, en cualquier caso muy superiores a las aceptadas como admisibles (McKee y Wolf, 1963). Tampoco es utilizado como indicador de calidad para el agua destinada a otros usos. No obstante, presenta un comportamiento

alejado de los estándares mínimos de calidad en muchas de las aguas controladas por la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ), por lo que ha sido el elegido para su discusión en este trabajo.

La legislación europea distingue cuatro grupos de clasificación según la calidad para el agua prepotable: A1, A2, A3 y +A3. Los tres primeros corresponden a procesos de tratamiento tipo adecuados para la potabilización de las aguas. Mientras que las aguas del nivel A2 exigen tratamiento físico-químicos normales de desinfección, las calificadas como A3 tienen un nivel de exigencia mayor, al ser sus tratamientos intensivos, junto al afino y desinfección. Aguas calificadas en niveles superiores, el +A3, sólo pueden ser de abastecimiento a la población previa elaboración de un plan de gestión de mejora en la calidad que incluya el tratamiento adecuado, incluida la mezcla. La pertenencia de un agua concreta a cada uno de esos grupos se establece en función de la inclusión de los valores de cada parámetro en sendos intervalos de valores admisibles.

El ión sulfato está asociado a la contaminación natural, esto es, tiene mucha relación con el tipo y composición geológica del suelo por el que circulan los ríos. Por ello, y para determinadas zonas o países, no puede actuarse de forma definitiva para disminuir las altas concentraciones del ión. Sólo técnicas de desmineralización llegan a ser efectivas para la eliminación de los sulfatos (National Academy of Sciences, 1977), si bien sí que son necesarios los oportunos procesos de potabilización exigidos por la esperada mala clasificación normativa. Para este tipo de parámetros, las Directivas prevén excepciones que pueden aplicar los estados miembros. Concretamente, en España el nivel máximo admisible para la concentración del ión sulfato es de 250 mg/l, el mismo para los tres niveles de clasificación A1, A2 y A3, si bien concentraciones superiores a dicho valor no suponen la clasificación del agua en la peor categoría, la +A3, sino que se admite su clasificación en la categoría A3. Descripciones más completas sobre las características y aplicación de las normativas pueden encontrarse en Beamonte, Bermúdez, Casino y Veres (2002).

2. ESTACIONES DE CONTROL Y ESTRUCTURA DE LOS DATOS

En la actualidad, la calidad del agua prepotable es analizada y controlada por la red ICA de las Confederaciones Hidrográficas, que son los órganos de la

Administración española encargados de la policía y vigilancia de las aguas superficiales. A lo largo de los distintos cauces de los ríos han sido ubicadas una serie de estaciones de aforo y medición, que tienen como objeto tomar muestras y realizar análisis sistemáticos -si bien con periodicidades distintas, atendiendo al tamaño de la población que va a ser abastecida- de los distintos parámetros que determinan la posible potabilidad -y, consecuentemente, la posible contaminación- de sus aguas.

En el ámbito de la Confederación Hidrográfica del Júcar existen 25 estaciones de control para el agua prepotable. Cada una de ellas tiene una ubicación fija, seleccionada como un punto del cauce de relativo fácil acceso, perfectamente definido en mapa y en coordenadas geográficas.

Respecto a los datos, la Directiva 79/869/CEE establece la periodicidad con la que debe medirse el ión sulfato. Concretamente, dos tomas anuales para el agua de nivel A1, y tomas trimestrales si el nivel de calidad es A2 ó A3, y esto para poblaciones mayores de 100000 habitantes. Para poblaciones intermedias -de 30000 a 100000 habitantes- esas frecuencias disminuyen, según niveles, a una toma anual o a una toma semestral, respectivamente. Y estas frecuencias se reducen a una sola toma anual, independientemente del nivel de calidad, para el agua suministrada a poblaciones de menos de 30000 habitantes. En resumen, se muestrea con más intensidad en aquellas estaciones de control cuya agua es, tradicionalmente, de peor calidad, así como se intenta obtener más información de aquellos parámetros considerados de mayor relevancia por su incidencia en la calidad del agua.

La referencia temporal de los datos aquí utilizados empieza en marzo de 1994 y termina en abril de 2002, si bien, tal como se ha comentado en el anterior párrafo, dicha referencia no es común para las 25 estaciones de control. Así, la estación E516 es la que tiene menor número de medidas -tres, en todo el período-, mientras que la estación H601 es la de mayor número de datos, 93 repartidos en ese lapso de tiempo. Esta diferencia de datos deberá tenerse en cuenta a la hora de valorar los resultados estadísticos obtenidos más adelante.

3. OBJETIVOS

Dos son los objetivos principales que nos proponemos alcanzar en este trabajo. En primer lugar, clasificar el conjunto de estaciones prepotables según los valores del

ión sulfato. La ubicación geográfica del resultado de la clasificación, teniendo en cuenta el origen natural del exceso de sulfatos, ofrece información sobre la naturaleza geológica de los terrenos por donde ha circulado el agua antes de llegar a la respectiva estación de control. Las posibles excepciones son indicativas de la existencia de contaminación por sulfatos de origen no natural.

En segundo lugar, la consideración del tiempo como variable relevante en el análisis permite concluir, para cada estación, si ha habido una evolución temporal diferenciada en las concentraciones del ión sulfato, marcando tendencias a mejor o a peor; o si, por el contrario, existe estabilidad en los niveles de dicho parámetro a lo largo del período estudiado.

En lo que sigue, se abordan ambos objetivos a través de las oportunas técnicas de análisis estadístico.

4. CLASIFICACIÓN DE LAS ESTACIONES DE CONTROL SEGÚN EL NIVEL DEL IÓN SULFATO

La concentración máxima admisible del ión sulfato, para los tres niveles de clasificación A1, A2 y A3, es de 250 mg/l. Aquellas estaciones que, razonablemente, no alcancen este nivel quedarán clasificadas -atendiendo a este parámetro- en la mejor categoría A1. Para aquellas en las que no podamos suponer que la concentración del ión sulfato quede por debajo o por encima de ese valor límite, desconoceremos si la clasificación de su calidad pertenecerá a los niveles A1 ó A2 (dado que el nivel máximo admisible es el mismo para esos tres niveles de calidad). Finalmente, en aquellas estaciones para las que el nivel del ión sulfato supere razonablemente el valor límite, su clasificación será A2, toda vez que existe excepcionalidad para dicho parámetro en los niveles A2 y A3, por lo que no es posible la peor de las clasificaciones, la +A3.

En primer lugar, realizamos una clasificación de las estaciones de control utilizando intervalos de confianza del 95% para la media de la concentración del ión sulfato. Estos intervalos, calculados estación por estación, permite clasificar las mismas según una jerarquía de mejor a peor calidad, atendiendo a los criterios siguientes:

- Categoría C1: estaciones cuyo límite superior del correspondiente intervalo de confianza, al 95%, de la media de concentración de ión sulfato es inferior al valor máximo admisible de 250 mg/l.

- Categoría C2: estaciones con intervalo de confianza, al 95%, de la media de concentración de ión sulfato incluyendo al valor máximo admisible de 250 mg/l.
- Categoría C3: estaciones cuyo límite inferior del correspondiente intervalo de confianza, al 95%, de la media de concentración de ión sulfato es superior al valor máximo admisible de 250 mg/l.

Las estaciones pertenecientes a la categoría C1 serían las clasificadas en A1; las de categoría C2 serían las de clasificación incierta entre A1 y A3; finalmente, las de categoría C3 serían las estaciones clasificadas en A3.

La tabla 1 recoge, para cada estación de control del agua prepotable, el número total de datos con los que se han construido los correspondientes intervalos de confianza de la media de concentración del ión sulfato, la media, los extremos de los intervalos y la oportuna clasificación en categorías.

Asimismo, en la figura 1 se representan las concentraciones medias del ión sulfato para las diferentes estaciones y también parece apuntar la existencia de tres grandes grupos, según que ese valor medio sea bajo, indefinido o alto.

El intervalo de confianza construido con las medidas de todas las estaciones es [264.71 , 278.61], que da lugar a una clasificación por ión sulfato para el agua de la CHJ en su conjunto de C3. En definitiva, la calidad media por sulfatos para el agua en el ámbito de la CHJ es muy baja. Las estaciones con mala clasificación (C3) son decisivas, arrastrando a las de buena (C1) o indefinida (C2) clasificación.

Estación	N	Media	Intervalo de confianza del 95% para la media		Categoría
			Límite inferior	Límite superior	
A801	6	118.75	-67.68	305.18	C2
C301	32	151.41	141.23	161.58	C1
C402	19	180.07	145.71	214.44	C1
C403	52	483.87	438.34	529.40	C3
E516	3	95.90	83.58	108.21	C1
F702	31	250.13	238.42	261.85	C2
G007	33	213.32	181.49	245.14	C1
G402	51	322.37	297.75	346.99	C3
G501	20	303.15	269.36	336.93	C3
H101	21	202.55	174.45	230.66	C1
H102	24	215.03	182.59	247.48	C1
H402	69	308.84	293.38	324.30	C3
H601	93	302.31	293.46	311.16	C3
H602	87	260.59	252.04	269.15	C3

H603	19	245.46	234.11	256.80	C2
I301	19	247.83	224.72	270.93	C2
I603	92	263.05	254.32	271.78	C3
J101	16	222.33	190.89	253.76	C2
K202	58	222.11	209.67	234.55	C1
K503	31	261.16	246.75	275.57	C2
K507	35	254.43	238.08	270.79	C2
K520	5	259.48	224.91	294.04	C2
L703	92	281.75	265.95	297.55	C3
M607	27	32.28	24.98	39.58	C1
N603	32	448.57	389.89	507.25	C3
Total	967	271.66	264.71	278.61	C3

Tabla 1. Intervalos de confianza para la concentración media del ión sulfato, por estaciones de control.

La localización en el mapa de las estaciones según la anterior clasificación queda recogida en la figura 2. En ella se aprecia la existencia de tres zonas diferenciadas.

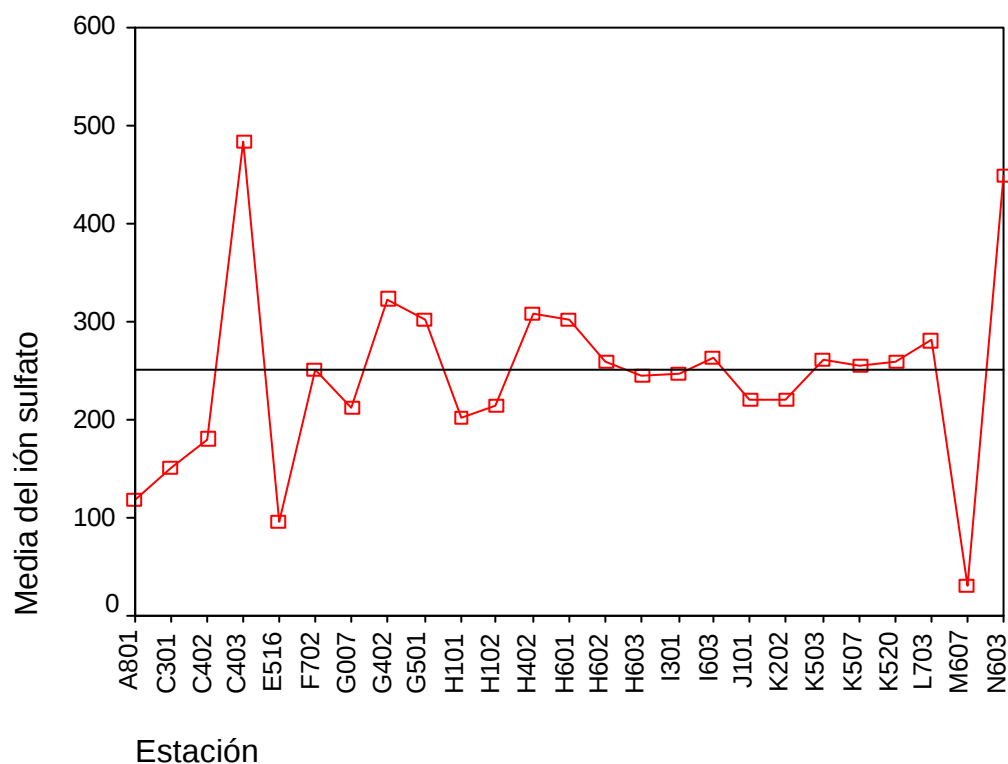


Figura 1. Concentración media del ión sulfato, por estaciones de control.

La primera correspondería a las estaciones de mejor clasificación, situadas en las zonas altas de los cauces de los ríos Mijares (E516), Turia (C301 y C402) y Júcar (G007, H102 y H101).

Existe una excepción: la estación M607, que también pertenece a esta categoría. Controla la calidad del agua del río Guadalest, que constituye una subcuenca local, muy pequeña, con vertido directo al mar. La toma de muestras de agua se realiza en el pantano, lo que favorece el proceso de decantación y la consiguiente eliminación de contaminación y mejora de la calidad subsiguiente.

La clasificación global de la calidad del agua de estas estaciones teniendo en cuenta todos los parámetros y no sólo el ión sulfato es buena: todas ellas están clasificadas en los mejores niveles de calidad global, A1 ó A2.

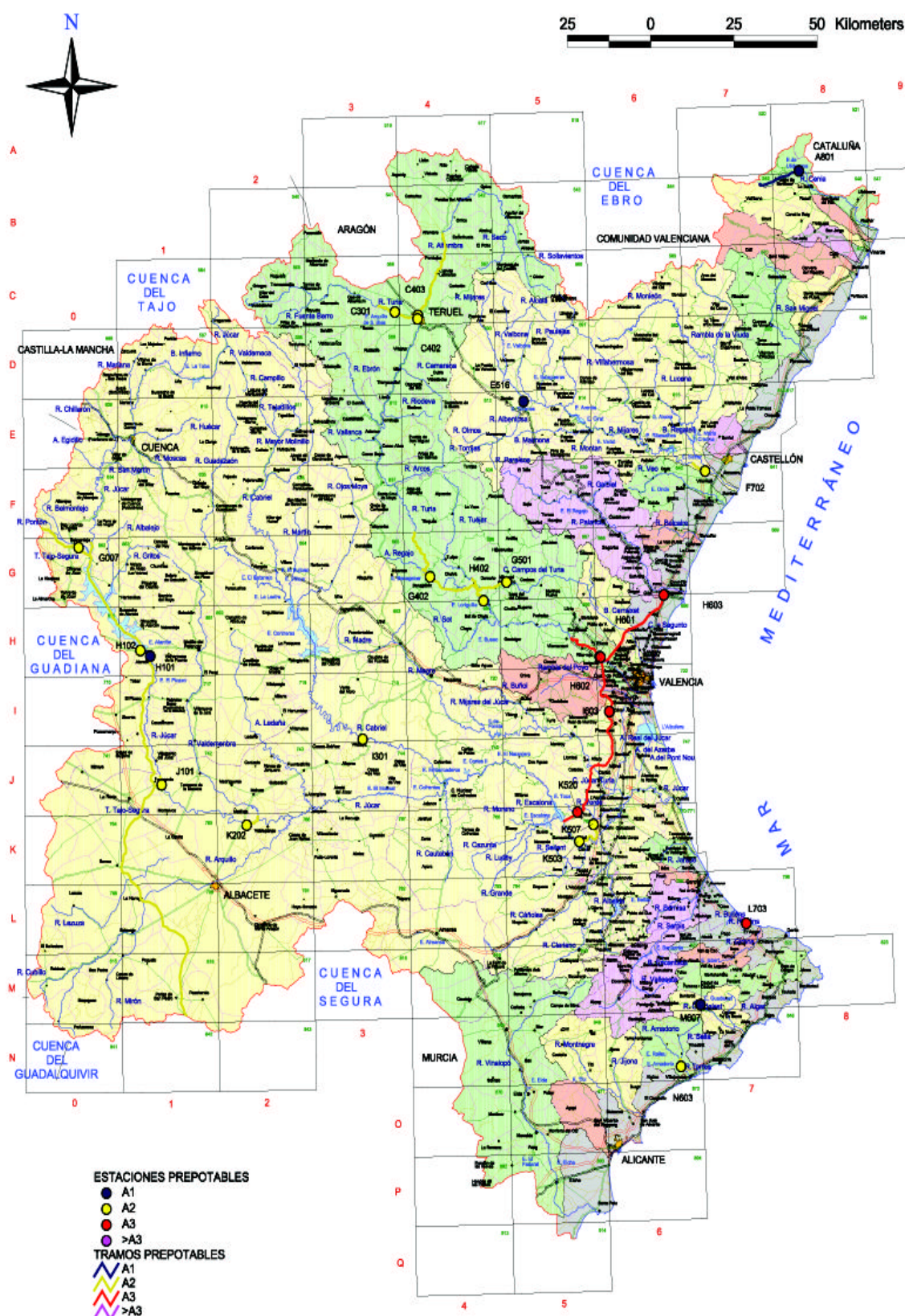


Figura 2. Localización de la estaciones de control según su clasificación por sulfatos.

La segunda de las zonas correspondería, fundamentalmente, a la zona media del cauce del río Júcar (J101, I301, K503, K507 y K520), así como a la estación situada en el río Cenia (A801) y la ubicada un poco antes de la desembocadura del río Mijares (F702). El río Cenia conforma una subcuenca local de pequeña superficie, mientras que la estación del río Mijares tiene niveles de sulfatos superiores a los de la estación E516 situada aguas arriba en dicho río.

A todas estas estaciones hay que añadir la H603, situada al final del canal Júcar-Turia-Sagunto. También la cabecera de este canal, con la estación K520, tiene niveles de ión sulfato sobre los que no es posible definirse si superarán el máximo admisible de 250 mg/l.

La clasificación global de la calidad del agua de estas estaciones no es uniforme, al coexistir estaciones con los tres niveles de calidad A1, A2 y A3.

La tercera zona corresponde, principalmente, al entorno de la ciudad de Valencia, con dos subzonas bien definidas. Por una parte, la zona media-baja de la subcuenca del Turia (estaciones G402, H402 y G501); por otra, las estaciones intermedias del canal Júcar-Turia-Sagunto, que abastecen de agua a la ciudad de Valencia y su entorno metropolitano (I603, H602 y H601).

A todas las anteriores hay que añadir tres estaciones también clasificadas en esta categoría C3. La estación C403 está situada en el río Alfambra, afluente del Guadalaviar o Turia, un poco antes de la ciudad de Teruel. Mide la calidad de aguas que circulan por una zona geológica de antiguas minas de carbón y con abundancia de sulfatos, de ahí la consiguiente contaminación natural derivada de la especial geología de su cuenca.

La estación L703 está situada en el río Racons o Molinell, en los límites de las provincias de Valencia y Alicante. Controla el agua que abastece a Denia y su entorno, cuya calidad global es de las más bajas (nivel A3) no sólo debido a los sulfatos, sino también a los cloruros y a las altas conductividades del agua. Constituye una subcuenca local de muy pequeña extensión.

Finalmente, la estación N603 también está clasificada en la categoría C3. Está situada en el río Amadorio, que es el que abastece a Villajoyosa y otras poblaciones de

la Marina Baja (Alicante). Este río también constituye una subcuenca de muy pequeña extensión.

Todas las estaciones de esta categoría tienen niveles globales de calidad del agua en A2 ó A3.

Cabe destacar la escasez de información derivada de las pocas mediciones efectuadas del parámetro sulfato en las estaciones A801, E516 y K520. Evidentemente, ello condiciona sobremanera la clasificación según el ión sulfato de dichas estaciones.

En segundo lugar, clasificamos las estaciones utilizando conglomerados. Al utilizar la concentración media del ión sulfato como valor descriptivo de cada estación, calculada con todos los datos disponibles para cada una de ellas, el correspondiente análisis de conglomerados jerárquico proporciona el dendrograma que se recoge en la figura 3 y que apunta la existencia de tres conglomerados o grupos.

Este resultado es prácticamente coincidente con el obtenido por el procedimiento del análisis de conglomerados de k-medias, con la única excepción de la diferente clasificación de la estación C402.

Ambos análisis -que no tienen en cuenta la incertidumbre asociada a las medidas- establecen la clasificación ya apuntada en la figura 1. Una primera categoría formada por las cinco estaciones cuyas concentraciones medias para el ión sulfato quedan muy por debajo del valor máximo admisible de 250 mg/l; una segunda categoría formada por las 18 estaciones con concentraciones medias alrededor de dicho valor admisible y, finalmente, las dos estaciones que destacan porque su concentración media excede muy por encima el valor máximo.

Comparando esta clasificación por conglomerados con la deducida con los intervalos de confianza -que sí tenía en cuenta la incertidumbre asociada a cada una de las medidas- se aprecia que no son incompatibles. En efecto, en la clasificación por conglomerados la categoría intermedia se ha visto agrandada por algunas estaciones de las dos categorías extremas, precisamente aquéllas cuyos intervalos de confianza se acercaban más al valor frontera de 250 mg/l.

Rescaled Distance Cluster Combine

C A S E	0	5	10	15	20	25
Label Num	+-----+	+-----+	+-----+	+-----+	+-----+	+-----+

J101
 K202
 G007
 H102
 H101
 F702
 J301
 H603
 H602
 K503
 K520
 I603
 K507
 L703
 G501
 H601
 H402
 G402
 A801
 E516
 C301
 C402
 M607
 C403

 N603

Figura 3. Dendograma de clasificación por sulfatos de la estaciones de control.

5. EVOLUCIÓN TEMPORAL DE LAS ESTACIONES DE CONTROL

Los datos utilizados en este trabajo tienen una dimensión temporal, en cuanto que corresponden a medidas efectuadas en diferentes momentos a lo largo del período comprendido entre marzo de 1994 y abril de 2002. Ello permite formular la pregunta de si ha habido o no variación en el comportamiento del ión sulfato en dicho período.

Para dar respuesta a lo planteado se han considerado dos períodos: el primero, el comprendido desde marzo de 1994 hasta febrero de 1997; el segundo, el que abarca las medidas tomadas desde mayo de 1999 hasta abril de 2002. Los datos del período intermedio no han sido considerados, para así enfatizar la posible diferenciación temporal del comportamiento del parámetro estudiado.

La tabla 2 recoge los p-valores resultantes de los tests bilaterales no paramétricos para contrastar la igualdad de concentraciones medias en ambos subperíodos, realizados para cada una de las estaciones de control del agua prepotable y para el nivel de significación usual del 5%.

Estación	p-valor
----------	---------

A801	0.180
C301	0.326
C402	0.004
C403	0.629
E516	sin datos
F702	0.172
G007	0.459
G402	0.364
G501	0.021
H101	0.792
H102	0.409
H402	0.113
H601	0.030
H602	0.961
H603	sin datos
I301	0.025
I603	0.868
J101	0.782
K202	0.114
K503	0.805
K507	0.550
K520	sin datos
L703	0.173
M607	0.595
N603	0.006

Tabla 2. p-valores del test de igualdad de concentraciones medias en los períodos.

Para el nivel de significación del 5%, la hipótesis nula de la no influencia del período en la concentración de sulfatos no es aceptable en las estaciones C402, G501, H601, I301 y N603; sin que pueda apreciarse una explicación de tipo geográfico o geológico a tal comportamiento. No obstante, al considerar dicha hipótesis nula para el conjunto de estaciones y, por tanto, para el conjunto del agua controlada por la CHJ, la corrección de Bonferroni (Milton, 1994) proporciona un p-valor corregido, asociado a esa significación del 5%, igual a 0.0021. Con este p-valor no puede rechazarse la hipótesis nula en la comparación múltiple de las estaciones, lo que confirma la inexistencia de evolución temporal -a más o a menos- en el comportamiento de las concentraciones del ión sulfato en las estaciones de control dependientes de la CHJ. Dado su alto nivel concluimos que los sulfatos siguen siendo fuente de contaminación

en el agua prepotable estudiada, según los estándares admisibles fijados en la legislación europea.

6. CONCLUSIONES

El ión sulfato presenta un mal comportamiento en el conjunto de las aguas controladas por la CHJ, si bien resulta muy difícil disminuir su concentración dado el carácter natural de su origen.

No obstante, no todas las zonas y subcuencas presentan este problema. En general, las cabeceras de los ríos dependientes de la CHJ no presentan este problema, como tampoco parece ser probabilísticamente relevante la contaminación por sulfatos en la subcuenca del Júcar. En cambio, el agua de las zonas en torno a la ciudad de Valencia (curso medio-bajo del Turia y canal Júcar-Turia-Sagunto) presentan las más altas concentraciones del ión sulfato.

Existen ciertas excepciones concretas, precisamente en pequeñas subcuencas de la provincia de Alicante, en donde también la presencia de los sulfatos es altamente significativa.

Finalmente, a lo largo del período estudiado no se ha apreciado un cambio significativo en el comportamiento de los sulfatos. Así pues, este ión era, y sigue siendo, fuente de contaminación en el agua prepotable en el ámbito de la CHJ.

REFERENCIAS

Arthur D. Little, Inc. (1971). *Water quality criteria data book. Vol. 2. Inorganic chemical pollution of freshwater*. Water Pollut. Control Res. Ser. No. DPV 18010. Washington: U.S. Environmental Protection Agency.

Beamonte, E., Bermúdez, J., Casino, A. y Veres, E. (2002). *Calidad de las aguas: el caso de ciertas estaciones de medición de la calidad del agua prepotable*. Actas de la XVI Reunión de ASEPELT-España. Madrid. Pendiente de publicación.

Chapman, D. (1992). *Water Quality Assessments. A guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. Londres: Chapman & Hall.

McKee, J.E. y Wolf, H.W. (1963). *Water quality criteria. 2nd edition*. Sacramento: California State Water Quality Control Board.

Milton, J.S. (1994). *Estadística para Biología y Ciencias de la Salud*. México: McGraw-Hill Iberoamericana.

Ministerio de Medio Ambiente (1998). *Manual de interpretación y elaboración de informes. Directivas 75/440/CEE y 79/869/CEE relativas a la calidad y métodos de medición, frecuencia de los muestreos y del análisis de las aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable*. Madrid.

National Academy of Sciences (1977). *Drinking water and health*. Washington: National Research Council.

Poch, M. (1999). *Las calidades del agua*. Barcelona: Rubes Editorial.