

EL TRASVASE EBRO-JUCAR: COMPARACIÓN ENTRE LAS CALIDADES DEL AGUA

Eduardo Beamonte Córdoba

Departamento de Economía Aplicada

Universitat de València

e-mail: beamonte@uv.es

José D. Bermúdez Edo

Departamento de Estadística e Investigación Operativa

Universitat de València

e-mail: bermudez@uv.es

Alejandro Casino Martínez

Departamento de Economía Aplicada

Universitat de València

e-mail: Alejandro.Casino@uv.es

Ernesto J. Veres Ferrer

Departamento de Economía Aplicada

Universitat de València

e-mail: Ernesto.Veres@uv.es

Resumen

Todos los estudios técnicos, valoraciones de los expertos y opiniones políticas realizadas sobre el polémico proyecto de trasvase Ebro-Júcar se han centrado en los aspectos cuantitativos del trasvase y no en los aspectos relacionados con la calidad del agua trasvasada y sus posibles efectos sobre la de la cuenca receptora.

En este trabajo se realiza un análisis comparativo de la calidad del agua del río Ebro -en el lugar donde el proyecto preveía la salida del agua trasvasada- y de la cuenca del Júcar -en los puntos próximos al lugar en que estaba prevista su llegada-. También se analiza el posible cambio en la calidad del agua de las dos cuencas, en los últimos años. Para ello se utilizan técnicas estadísticas de análisis, aplicadas sobre una selección de parámetros físico-químicos que definen la calidad del agua y sobre los que se dispone de suficiente información.

Palabras clave: Análisis estadístico de datos, calidad del agua, parámetros físico-químicos, trasvase Ebro-Júcar.

Área temática: Economía Agraria y Recursos Naturales.

1. Introducción.

El trasvase Ebro-Júcar, previsto por el Plan Hidrológico Nacional (Ley 10/2001 de 5 de julio) y derogado en la práctica por el Real Decreto-Ley 2/2004 de 18 de junio, ha suscitado una gran polémica. Todos los estudios técnicos, valoraciones de los expertos e intervenciones de la clase política, se han centrado en los aspectos cuantitativos del trasvase, dada la evidente necesidad de agua de las cuencas demandantes del mismo, y no en los aspectos relacionados con la calidad del agua trasvasada y sus posibles efectos sobre la del agua de la cuenca receptora. Si bien el secular déficit hídrico de las cuencas receptoras (Júcar, Segura y provincia de Almería) constituye el argumento central para justificar el trasvase, también es necesario exigir la existencia de un mínimo de calidad asociada a la cantidad del agua disponible.

Desde un punto de vista técnico, la calidad del agua viene determinada por dos conceptos: la *potencia hidráulica*, relacionada con su posición en altitud; y la *potencia osmótica*, relacionada con su contenido en sales y conductividad (Naredo, 1997). La primera es la que permite mover el agua por gravedad, mientras que la segunda es la que la hace útil para abastecimientos y riegos. Ambas potencias apuntan a las dificultades de viabilidad del trasvase, como se pone de manifiesto en Naredo (2003). Esto implica que deban tenerse en cuenta proyectos de desalación adicionales que, unidos a los costes de bombeo para salvar diferentes cotas del trayecto, aumenta el montante total del proyecto por lo que, antes de acometerlo, debiera cuantificarse en profundidad el coste final del metro cúbico del agua trasvasada (Estevan, 2003; Prada, 2003; Sahuquillo, 2001).

Un segundo aspecto a considerar es el referido a las repercusiones medioambientales del previsto trasvase: protección integral del Delta del Ebro, vigilancia de las especies protegidas existentes y control de la propagación de especies invasoras, posible aumento de la salinidad del agua tanto en la cuenca cedente como en las receptoras y su efecto final, y valoración de los efectos del trasvase en los estiajes y años de acusado déficit hídrico. En los trabajos referenciados anteriormente se recogen distintos planteamientos críticos al modelo propuesto.

Finalmente, otro aspecto de interés hace referencia a las características físico-químicas del agua resultante de la mezcla de la procedente del Ebro con la de la cuenca del Júcar.

En el presente trabajo se pretende realizar un análisis comparativo de las características físico-químicas que definen la calidad del agua en las cuencas cedente (Ebro) y receptora (Júcar), así como estudiar cómo podría afectar a la calidad la mezcla del agua de ambas cuencas, considerando distintas combinaciones posibles. Para ello se van a utilizar diferentes técnicas estadísticas de análisis. En relación con el tema objeto de este estudio cabe citar los trabajos de Beamonte et al. (2004a y 2004b). En el último, se define un índice de calidad global que permite sintetizar en un valor numérico la calidad del agua según los criterios administrativos de obligado cumplimiento definidos en la vigente legislación de la Unión Europea.

2. La calidad del agua: parámetros físico-químicos y datos.

Los requerimientos específicos sobre la calidad del agua vienen recogidos en la legislación básica de la Unión Europea, que es de obligatorio cumplimiento para todos los países miembros. Existen distintas normativas atendiendo al uso posible del agua: para uso humano (agua prepotable), para la vida de los peces (agua piscícola) y para el riego (agua agrícola). Así, las especificaciones que debe satisfacer el agua prepotable aparecen reflejadas en las Directivas 75/440/CEE y 79/869/CEE.

Una calidad determinada ha de hacer referencia a un uso también preestablecido, presentando cada uno de ellos requerimientos específicos (Poch, 1999). La calidad del agua según usos viene medida mediante un conjunto de parámetros, en muchas ocasiones coincidentes. Debido a las garantías exigidas para la salvaguardia de la salud pública, las exigencias de control para el agua prepotable, que representa menos del 5% del consumo total de agua (Bielsa y Duarte, 2000), son mayores que las establecidas para los otros usos. Los límites de admisibilidad para el agua destinada al consumo humano dan lugar a la existencia de cuatro niveles de calidad, denotados por A1, A2, A3 y +A3, dependiendo de las exigencias de tratamiento

posterior: el nivel A1 precisa tratamiento físico-simple y desinfección; el nivel A2 precisa tratamiento físico normal, químico y desinfección; el nivel A3 precisa tratamiento físico y químico intensivos, afino y desinfección; y el nivel +A3 precisa adicionalmente un estudio de tratamiento y mejora, incluyendo la mezcla.

En el caso del agua destinada a consumo humano, la normativa de la Unión Europea distingue entre parámetros guía y parámetros imperativos. Los primeros, a diferencia de los segundos, no es obligatorio considerarlos a la hora de determinar la calidad del agua, si bien es aconsejable tenerlos en cuenta, por lo que es previsible su futura incorporación en una definición de calidad. En este estudio no se va atender en cuenta esa distinción y se han considerado aquellos parámetros sobre los que se disponía de información suficiente para el tratamiento estadístico posterior.

La Tabla 1 recoge los parámetros físico-químicos analizados y se relacionan sus unidades de medida y valores límite para cada uno de los niveles de calidad explicitados en la normativa referente al agua destinada al consumo humano.

Tabla 1. Parámetros estudiados y sus límites de calidad

Parámetro	Unidad de medida	A1	A2	A3
<i>Boro</i>	mg/l	1	1	1
<i>Cloruros</i>	mg/l	200	200	200
<i>Coliformes fecales</i>	NMP/100 ml	20	2000	20000
<i>Coliformes totales 37°C</i>	NMP/100 ml	50	5000	50000
<i>Conductividad</i>	µS/cm a 20°C	1000	1000	1000
<i>Demanda bioquímica de oxígeno</i>	mg/l O ₂	3	5	7
<i>Demanda química de oxígeno al dicromato</i>	mg/l O ₂	30	30	30
<i>Fosfatos</i>	mg/l	0,4	0,7	0,7
<i>Manganeso</i>	mg/l	0,05	0,1	1
<i>Oxígeno disuelto</i>	% O ₂	>70	>50	>30
<i>pH</i>		6,5 – 8,5	5,5 - 9	5,5 - 9
<i>Sólidos en suspensión</i>	mg/l MES	25		

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente.

El proyecto del trasvase Ebro-Júcar preveía la salida del agua, en la cuenca cedente, en un punto localizado entre las estaciones de control de la Red ICA de Xert y de Tortosa. La cota del punto de toma de aguas se sitúa a 10 metros sobre el nivel del mar, dándole un carácter de trasvase cuesta arriba. El primer lugar de llegada para la mezcla con aguas de la cuenca del Júcar estaba previsto en puntos de la Rambla de la Viuda (en su cruce con el río Monleón) y del pantano de M^a Cristina, que recoge las aguas de los ríos Monleón y Lucena.

Los datos utilizados en este trabajo han sido proporcionados por las cuencas hidrográficas del Ebro y del Júcar, abarcando un amplio período temporal: desde marzo de 1994 hasta junio de 2004.

Debido a la menor cantidad de datos existentes en el Júcar, la información finalmente tratada es ligeramente menor para la cuenca del Júcar que para la del Ebro. Los datos sobre la calidad del agua son los observados en las siguientes estaciones de medición de la calidad ICA controladas por las cuencas hidrográficas del Ebro y del Júcar:

- Cuenca del Ebro: estación 027 (Ebro en Tortosa), situada en el municipio de Tortosa (Tarragona) y estación 512 (Ebro en Xert), situada en el municipio de Xerta (Tarragona).
- Cuenca del Júcar: estación E607 (embalse de Alcora), situada en el cauce del río Lucena, municipio de Alcora (Castellón) y E608, también situada en el cauce del río Lucena, término municipal de Lucena del Río.

Para ciertos análisis posteriores se han distinguido dos subperíodos dentro del rango temporal de los datos. Concretamente, el primero de ellos comprende los años 1994 a 1999, y el segundo los años 2000 a 2004. El número de datos considerado por parámetro, cuenca y periodo, queda recogido en la Tabla 2.

Tabla 2. Número de datos por período, parámetro y cuenca

Parámetro	Periodo					
	1994-1999			2000-2004		
	Júcar	Ebro	Total	Júcar	Ebro	Total
<i>Boro</i>	20	12	32	18	3	21
<i>Cloruros</i>	23	131	154	18	108	126
<i>Coliformes fecales</i>	20	90	110	18	72	90
<i>Coliformes totales 37° C</i>	14	91	105	18	72	90
<i>Conductividad</i>	29	131	160	1	126	127
<i>Demanda bioquímica de oxígeno</i>	48	130	178	67	108	175
<i>Demanda química de oxígeno al dicromato</i>	14	42	56	18	6	24
<i>Fosfatos</i>	7	130	137	18	108	126
<i>Manganeso</i>	3	89	92	4	41	45
<i>Oxígeno disuelto</i>	56	131	187	69	108	177
<i>pH</i>	29	131	160	5	126	131
<i>Sólidos en suspensión</i>	48	130	178	68	108	176

Finalmente, las Tablas 3 y 4 recogen ciertos estadísticos descriptivos básicos, para cada cuenca por separado y para cada uno de los parámetros considerados. Permiten visualizar la existencia de diferencias entre ellas.

Tabla 3. Estadísticos descriptivos de los parámetros. Cuenca del Júcar

Parámetro	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
<i>Boro</i>	38	0,2300	0,0000	0,2300	0,02053	0,0602
<i>Cloruros</i>	41	34,6000	7,4000	42,0000	20,7683	7,3789
<i>Coliformes fecales</i>	38	100,0000	0,0000	100,0000	12,3947	21,0630
<i>Coliformes totales</i>	32	1860,0000	0,0000	1860,0000	195,2812	368,5351
<i>Conductividad</i>	30	1453,0000	657,0000	2110,0000	952,7667	305,2755
<i>Demanda bioquímica oxígeno</i>	115	10,5000	0,0000	10,5000	1,6991	2,3953
<i>Demanda química oxígeno al dicromato</i>	32	22,0000	0,0000	22,0000	7,9062	6,6544
<i>Fosfatos</i>	25	0,4300	0,0000	0,4300	0,0316	0,0952
<i>Manganeso</i>	7	0,0500	0,0000	0,0500	0,0074	0,0188
<i>Oxígeno disuelto</i>	125	11,4000	3,4000	14,8000	10,2224	1,9729
<i>pH</i>	34	1,0800	7,4600	8,5400	8,0732	0,2708
<i>Sólidos en suspensión</i>	116	39,0000	0,0000	39,0000	4,9138	6,6030

Tabla 4. Estadísticos descriptivos de los parámetros. Cuenca del Ebro

Parámetro	N	Rango	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típ.
<i>Boro</i>	15	0,2160	0,0240	0,2400	0,1288	0,0521
<i>Cloruros</i>	239	248,0000	0,0000	248,0000	112,0962	45,7968
<i>Coliformes fecales</i>	162	1000000,00	0,0000	1000000,00	10312,9074	79813,5556
<i>Coliformes totales</i>	163	1000000,00	0,0000	1000000,00	33877,5460	123521,688
<i>Conductividad</i>	257	1233,0000	360,0000	1593,0000	922,8949	244,4449
<i>Demanda bioquímica oxígeno</i>	238	54,0000	2,0000	56,0000	4,9592	4,4425
<i>Demanda química oxígeno al dicromato</i>	48	58,8000	1,7000	60,5000	12,4917	11,1511
<i>Fosfatos</i>	238	2,7800	0,0400	2,8200	0,2599	0,3141
<i>Manganeso</i>	130	0,5500	0,0000	0,5500	0,0230	0,0661
<i>Oxígeno disuelto</i>	239	7,4000	6,8000	14,2000	9,5159	1,5018
<i>pH</i>	257	1,0000	7,6000	8,6000	8,1216	0,1988
<i>Sólidos en suspensión</i>	238	876,0000	0,0000	876,0000	14,0546	57,2210

3. Objetivos del trabajo.

El presente trabajo pretende, en primer lugar, comparar estadísticamente la calidad del agua circulante por el río Ebro, en el punto donde el proyecto preveía la salida del agua, y la de la cuenca del Júcar, en los puntos próximos al lugar en que estaba prevista la llegada del agua trasvasada. En ese análisis se va a tener en cuenta el posible cambio temporal en el comportamiento de los parámetros físico-químicos que definen la calidad del agua. Con esa finalidad, se han creado dos grupos temporales para las mediciones de los parámetros: las comprendidas desde marzo de 1994 a diciembre de 1999 y las observadas de enero de 2000 a junio de 2004.

En segundo lugar, en el trabajo se va a analizar la calidad resultante de la mezcla del agua procedente de ambas cuencas, bajo distintos supuestos de aporte de caudal, y centrándonos en uno de los parámetros que ha mostrado un comportamiento significativamente distinto en las dos cuencas consideradas.

4. Resultados.

4.1 Análisis comparativo de la calidad del agua del río Ebro y la cuenca del Júcar

En primer lugar, comparamos el comportamiento de cada parámetro físico-químico en las dos cuencas hidrográficas. Para ello, se han utilizado técnicas univariantes, tanto paramétricas como no paramétricas.

En la Tabla 5 se recoge la diferencia entre el valor medio que toma cada uno de los parámetros en la cuenca del Júcar y el correspondiente a la del Ebro, así como el nivel de significación crítico asociado al test *t* de comparación de medias. Se han considerado los periodos temporales 1994-1999, 2000-2004 y el periodo completo 1994-2004.

Tabla 5. Test *t* para el contraste de la igualdad de medias de los parámetros en las cuencas del Júcar y del Ebro

Parámetro	Periodo					
	1994-1999		2000-2004		1994-2004	
	Diferencia	p-valor	Diferencia	p-valor	Diferencia	p-valor
<i>Boro</i>	-0,1219	0,000	-0,0653	0,159	-0,1083	0,000
<i>Cloruros</i>	-86,5736	0,000	-97,2417	0,000	-91,3279	0,000
<i>Coliformes fecales</i>	-17757,87	0,460	-978,069	0,219	-10300,51	0,428
<i>Coliformes totales 37° C</i>	-54143,32	0,002	-7764,194	0,312	-33682,26	0,001
<i>Conductividad</i>	3,1961	0,953	96,3968	0,683	29,8717	0,538
<i>Demanda bioquímica de oxígeno</i>	-3,3086	0,000	-2,5567	0,000	-3,2601	0,000
<i>Demanda química de oxígeno al dicromato</i>	-4,6667	0,547	1,2222	0,955	-4,5854	0,040
<i>Fosfatos</i>	-0,3035	0,043	-0,1368	0,000	-0,2283	0,000
<i>Manganeso</i>	-0,0126	0,784	-0,0087	0,000	-0,0155	0,537
<i>Oxígeno disuelto</i>	0,6099	0,027	0,8040	0,002	0,7065	0,000
<i>pH</i>	-0,0001	0,998	0,0056	0,926	-0,0484	0,321
<i>Sólidos en suspensión</i>	-10,8372	0,332	-5,6040	0,000	-9,1408	0,087

Nota: los resultados de esta tabla corresponden a la prueba *t* para la igualdad de medias -en el caso de muestras independientes-, asumiendo o no varianzas iguales en función del correspondiente resultado obtenido después de aplicar la prueba de Levene para la igualdad de varianzas.

En la tabla se observa que para el periodo temporal completo, 1994-2004, que los *coliformes fecales*, la *conductividad*, el *manganeso*, el *pH* y los *sólidos en suspensión*, son los parámetros que presentan un nivel de significación crítico asociado superior al 5%. En el resto de los casos el nivel crítico es inferior al 5% y, por tanto, se podría concluir que existen diferencias significativas entre los valores medios que toman en las dos cuencas los parámetros *boro*, *cloruros*, *coliformes totales*, *demanda bioquímica de oxígeno*, *demanda química de oxígeno al dicromato*, *fosfatos* y *oxígeno disuelto*. Además, en todos estos parámetros que muestran un comportamiento significativamente distinto, excepto en el caso del *oxígeno disuelto*, el valor medio que toman en la cuenca del Ebro es superior al correspondiente en la cuenca del Júcar. De estos resultados se puede concluir que, por término medio, la calidad del agua analizada en la cuenca del Júcar, mediante los parámetros considerados en este trabajo, es mejor que la correspondiente a la cuenca del Ebro en los puntos de muestreo seleccionados.

Si se observa el comportamiento de los parámetros en cada uno de los subperiodos temporales, 1994-1999 y 2000-2004, se aprecian algunos cambios respecto a los resultados obtenidos en el periodo temporal completo. El *boro*, los *coliformes totales* y la *demanda química de oxígeno al dicromato*, que presentaban, cada uno de ellos, un comportamiento diferencial significativo en las dos cuencas en el periodo completo, no lo muestran ahora en el periodo 2000-2004 (para el último de estos parámetros se observa ese mismo resultado en el periodo 1994-1999). Se observa, también, que los valores medios que toman en las dos cuencas hidrográficas el *manganeso* y los *sólidos en suspensión* son significativamente distintos en el periodo 2000-2004, a diferencia de lo que ocurre en el periodo 1994-1999 y en el periodo completo 1994-2004.

También se han realizado tests bilaterales no paramétricos para contrastar la igualdad de los valores medios de los parámetros en las dos cuencas. Concretamente, en la Tabla 6 se presentan los p-valores resultantes de la aplicación del test de Mann-Whitney sobre cada parámetro, en cada uno de los dos subperiodos temporales y en el periodo completo 1994-2004. El citado test proporciona, en general, resultados en

línea a los ya comentados, si bien, en este caso, los valores medios de los *coliformes fecales*, el *manganeso* y los *sólidos en suspensión*, también parecen ser significativamente distintos en las dos cuencas hidrográficas cuando se considera el periodo temporal completo. Así pues, los únicos parámetros que, según los tests no paramétricos, no parecen mostrar un comportamiento significativamente distinto en ambas cuencas hidrográficas en el período global analizado son la *conductividad* y el *pH*.

Tabla 6. Test de Mann-Whitney para el contraste de la igualdad de medias de los parámetros en las cuencas del Júcar y del Ebro

Parámetro	Periodo		
	1994-1999	2000-2004	1994-2004
	p-valor	p-valor	p-valor
<i>Boro</i>	0,000	0,005	0,000
<i>Cloruros</i>	0,000	0,000	0,000
<i>Coliformes fecales</i>	0,000	0,000	0,000
<i>Coliformes totales 37° C</i>	0,000	0,000	0,000
<i>Conductividad</i>	0,560	0,567	0,947
<i>Demanda bioquímica de oxígeno</i>	0,000	0,000	0,000
<i>Demanda química de oxígeno al dicromato</i>	0,062	0,866	0,024
<i>Fosfatos</i>	0,000	0,000	0,000
<i>Manganeso</i>	0,344	0,017	0,006
<i>Oxígeno disuelto</i>	0,009	0,001	0,000
<i>pH</i>	0,712	0,935	0,575
<i>Sólidos en suspensión</i>	0,000	0,000	0,000

Nota: Los p-valores presentados en esta tabla corresponden al nivel de significación crítico bilateral asociado a la prueba de Mann-Whitney.

Por otra parte, si se compara el comportamiento de los parámetros, dentro de cada una de las dos cuencas, en los periodos 1994-1999 y 2000-2004, el test *t* que permite contrastar la igualdad de valores medios da lugar a los resultados que se presentan en la Tabla 7. En ella se puede observar que en la cuenca del Júcar el valor medio de los *cloruros*, la *demanda bioquímica de oxígeno* y los *sólidos en suspensión* se ha reducido significativamente en el período 2000-2004 con respecto al correspondiente valor medio del periodo 1994-1999 (en todos esos casos la diferencia de medias es

positiva y el p-valor inferior al 5%). En la cuenca del Ebro, los *coliformes totales*, la *demanda bioquímica de oxígeno*, los *fosfatos* y el *pH* son los parámetros que presentan cambios significativos en sus medias en los dos periodos temporales. Los tres primeros experimentan una reducción temporal en el valor medio, por el contrario el valor medio del último de esos parámetros se ha incrementado en el periodo 2000-2004 respecto del que presentaba en el periodo 1994-1999.

De los comentarios anteriores se puede concluir que, según el comportamiento promedio de los parámetros utilizados en este trabajo, la calidad del agua analizada, tanto en la cuenca del Júcar como en la del Ebro, no ha experimentado cambios temporales significativos en la mayoría de los casos. Además, todos los parámetros que presentan un nivel medio significativamente distinto en los dos periodos contemplados, excepto el caso del *pH* en el Ebro, han experimentado una mejora con el transcurso del tiempo.

Tabla 7. Test *t* para el contraste de la igualdad de medias de los parámetros, en cada cuenca, en los subperiodos 1994-1999 y 2000-2004

Parámetro	Cuenca Hidrográfica			
	Júcar		Ebro	
	Diferencia	p-valor	Diferencia	p-valor
<i>Boro</i>	-0,0085	0,670	0,0481	0,160
<i>Cloruros</i>	5,1626	0,024	-5,5055	0,356
<i>Coliformes fecales</i>	11,3056	0,099	16791,1083	0,139
<i>Coliformes totales 37° C</i>	210,5476	0,162	46589,6719	0,008
<i>Conductividad</i>	-41,6207	0,896	51,5800	0,090
<i>Demanda bioquímica de oxígeno</i>	2,2722	0,000	3,0241	0,000
<i>Demanda química de oxígeno al dicromato</i>	1,1825	0,626	5,9714	0,224
<i>Fosfatos</i>	0,0017	0,968	0,1685	0,000
<i>Manganeso</i>	0,0162	0,434	0,0201	0,108
<i>Oxígeno disuelto</i>	-0,0891	0,803	0,1050	0,592
<i>pH</i>	-0,1486	0,263	-0,1429	0,000
<i>Sólidos en suspensión</i>	5,1225	0,000	10,3557	0,165

Nota: los resultados de esta tabla corresponden a la prueba *t* para la igualdad de medias -en el caso de muestras independientes-, asumiendo o no varianzas iguales en función del correspondiente resultado obtenido después de aplicar la prueba de Levene para la igualdad de varianzas.

4.2 Análisis de la calidad resultante de la mezcla del agua procedente del río Ebro y la cuenca del Júcar. El caso de la demanda bioquímica de oxígeno

Centrándonos ahora en la *demanda bioquímica de oxígeno*, que es uno de los parámetros que ha mostrado un comportamiento significativamente distinto en las cuencas del Júcar y del Ebro, vamos a realizar un análisis comparativo del nivel de calidad que resultaría, atendiendo al citado parámetro, de una mezcla del agua procedente de ambas cuencas considerando distintas combinaciones posibles. Para ello, vamos a contemplar las exigencias establecidas en el caso del agua destinada al consumo humano.

Como se observa en la Tabla 1, para el agua destinada al consumo humano y en el caso de la *demanda bioquímica de oxígeno*, el valor máximo admisible es de 3 mg/l de O₂ para el nivel de calidad A1, de 5 mg/l para el nivel A2 y de 7 mg/l para el nivel de calidad A3. De esta forma, si el agua no alcanzase los 3 mg/l de O₂, quedaría clasificada, atendiendo a este parámetro, en la mejor categoría A1; en el caso que superase los 3 mg/l y no alcanzase los 5 mg/l, el agua se clasificaría en el nivel A2; un valor superior a 5 mg/l pero inferior a 7 mg/l supondría que el agua quedaría clasificada en el nivel A3, mientras que si se sobrepasase la cifra de 7 mg/l el agua se clasificaría en el peor de los niveles de calidad, +A3.

Nosotros vamos a realizar una clasificación del agua utilizando intervalos de confianza del 95% para el valor medio de la *demanda bioquímica de oxígeno*. Estos intervalos, calculados para cada tipo de agua, permiten clasificar la misma según una jerarquía de mejor a peor calidad, atendiendo a los criterios siguientes:

- Categoría C1: agua cuyo límite superior del correspondiente intervalo de confianza, al 95%, de la media de la *demanda bioquímica de oxígeno* es inferior a 3 mg/l.
- Categoría C2: agua en la que el límite superior del intervalo que contiene a la media de la *demanda bioquímica de oxígeno*, con una confianza del 95% es superior a 3 e inferior a 5 mg/l.

- Categoría C3: agua cuyo límite superior del correspondiente intervalo de confianza, al 95%, de la media de la *demanda bioquímica de oxígeno* es superior a 5 e inferior a 7 mg/l.
- Categoría C4: agua en la que el límite superior del intervalo que contiene a la media de la *demanda bioquímica de oxígeno*, con una confianza del 95%, supera el valor 7.

El agua perteneciente a la categoría C1 será clasificada en el nivel A1. Análogamente, las aguas encuadradas en las categorías C2 y C3 serán las clasificadas en los niveles A2 y A3, respectivamente. Por último, el agua perteneciente a la categoría C4 será la clasificada en +A3.

La Tabla 8 recoge, para cada periodo temporal y tipo de agua según su origen, el número total de datos con los que se han construido los correspondientes intervalos de confianza para el valor medio de la *demanda bioquímica de oxígeno*, la media, los extremos de los intervalos y la oportuna clasificación en categorías. El análisis se ha realizado para el periodo temporal global 1994-2004 y también para los subperiodos 1994-1999 y 2000-2004. Por lo que se refiere a los distintos tipos de agua según su origen, se han contemplado cinco escenarios distintos: dos de ellos corresponden a los casos en los que no se realizaría una mezcla de aguas (100% Júcar y 100% Ebro) y los otros tres escenarios representan las diferentes situaciones que resultarían de otras tantas hipotéticas combinaciones de la mezcla de agua procedente de las dos cuencas (75% Júcar + 25% Ebro, 50% Júcar + 50% Ebro y 25% Júcar + 75% Ebro).

Los resultados obtenidos para el periodo temporal completo 1994-2004 revelan que atendiendo a la *demanda bioquímica de oxígeno* la calidad del agua procedente del Júcar se clasificaría en la mejor de las categorías posibles, C1 (nivel A1), mientras que la calidad del agua del Ebro se encuadraría en la categoría C3 (nivel A3). Una hipotética mezcla de aguas de ambas cuencas significaría, en el caso del parámetro que nos ocupa, un deterioro de la calidad del agua de la cuenca del Júcar. El empeoramiento será tanto mayor cuanto mayor sea la proporción de agua procedente

del Ebro (cualquiera de las tres posibles mezclas contempladas conduciría a clasificar la calidad del agua resultante en la categoría C2 o nivel de calidad A2).

Tabla 8. Intervalos de confianza para la media de la *demanda bioquímica de oxígeno*, por periodos de tiempo y según el origen del agua

Periodo	Origen agua	N	Media	Intervalo de confianza del 95% para la media		Categoría
				Límite inferior	Límite superior	
1994-1999	100% Júcar	48	3,0229	2,2675	3,7784	C2
	75% Júcar +25% Ebro	178	3,8501	3,1243	4,5758	C2
	50% Júcar +50% Ebro	178	4,6772	4,0795	5,2749	C3
	25% Júcar +75% Ebro	178	5,5044	4,7448	6,2639	C3
	100% Ebro	130	6,3315	5,4007	7,2623	C4
2000-2004	100% Júcar	67	0,7507	0,3352	1,1663	C1
	75% Júcar +25% Ebro	175	1,3899	1,0689	1,7110	C1
	50% Júcar +50% Ebro	175	2,0291	1,7243	2,3338	C1
	25% Júcar +75% Ebro	175	2,6682	2,2722	3,0643	C2
	100% Ebro	108	3,3074	2,9266	3,6882	C2
1994-2004	100% Júcar	115	1,6991	1,2567	2,1416	C1
	75% Júcar +25% Ebro	353	2,6304	2,2129	3,0480	C2
	50% Júcar +50% Ebro	353	3,3644	3,0013	3,7275	C2
	25% Júcar +75% Ebro	353	4,0984	3,6450	4,5518	C2
	100% Ebro	238	4,9592	4,3919	5,5265	C3

Nota: Para obtener los valores medios y los correspondientes intervalos de confianza asociados a las distintas mezclas de aguas consideradas se ha introducido un factor corrector sobre los datos originales con objeto de conseguir que el peso relativo de las observaciones procedentes de ambas cuencas sea el mismo.

Observando los resultados que se obtienen en los subperiodos temporales 1994-1999 y 2000-2004, se detecta una mejoría en el comportamiento promedio de la *demanda bioquímica de oxígeno*, tanto en la cuenca del Júcar como en la del Ebro. En el primero de los subperiodos, la calidad del agua procedente de la cuenca del Júcar se clasificaría, según el parámetro objeto de estudio, en la categoría C2; la del Ebro, en la peor de las categorías, C4, y la calidad resultante de las distintas mezclas de los dos tipos de aguas se clasificaría en las categorías intermedias, C2 y C3. En el segundo de los subperiodos temporales, la calidad del agua de la cuenca del Júcar

pasaría a clasificarse en la categoría C1, la del Ebro en la categoría C2 y las distintas mezclas permitirían clasificar la calidad del agua en alguna de esas dos categorías citadas.

5. Conclusiones.

En este trabajo se ha realizado un análisis comparativo de algunas de las características físico-químicas que definen la calidad del agua en las cuencas del Ebro y del Júcar y se ha estudiado cómo podría afectar a la calidad la mezcla del agua procedente de ambas cuencas, bajo distintas hipótesis de combinación.

Los datos sobre la calidad del agua son los observados en las estaciones de control de la red ICA ubicadas en las cuencas hidrográficas del Ebro, en el lugar donde el derogado proyecto de trasvase Ebro-Júcar preveía la salida del agua, y del Júcar, en los puntos próximos al lugar en que estaba prevista la llegada del trasvase. En el estudio se han considerado aquellos parámetros sobre los que se disponía de información suficiente para su tratamiento estadístico. Esa información abarca un amplio período temporal: desde marzo de 1994 hasta junio de 2004. Además, con objeto de analizar el posible cambio temporal en el comportamiento de los parámetros, se ha dividido el periodo global en dos subperiodos: el primero, comprendido entre marzo de 1994 y diciembre de 1999, y el segundo, que incluye las observaciones recogidas desde enero de 2000 hasta junio de 2004.

Los análisis realizados para comparar la evolución de cada parámetro físico-químico, en las dos cuencas hidrográficas, muestran que casi todos ellos presentan un comportamiento significativamente distinto en ambas cuencas a lo largo del período global analizado (las únicas excepciones son la *conductividad* y el *pH*). Además, en todos los parámetros que muestran un comportamiento promedio significativamente distinto, el valor medio que toman en la cuenca del Ebro es superior al correspondiente en la cuenca del Júcar (excepto en el caso del *oxígeno disuelto*). Por ello, se puede concluir que, por término medio, la calidad del agua analizada en la cuenca del Júcar, mediante los parámetros considerados en este trabajo, es mejor que

la correspondiente a la cuenca del Ebro, en los puntos de muestreo seleccionados. Si se observa el comportamiento de los parámetros en cada uno de los subperiodos temporales, 1994-1999 y 2000-2004, se aprecian pocos cambios respecto a los resultados obtenidos en el periodo temporal completo.

El estudio comparativo del comportamiento promedio de los parámetros, en los periodos 1994-1999 y 2000-2004, permite concluir que la calidad del agua analizada, tanto en la cuenca del Júcar como en la del Ebro, no ha experimentado cambios significativos, en la mayoría de los casos. Además, la práctica totalidad de los pocos parámetros que presentan un nivel medio significativamente distinto en los dos periodos contemplados han experimentado una mejoría con el transcurso del tiempo (el *pH* en el Ebro constituye la única excepción).

Por lo que se refiere al análisis de la calidad resultante de la mezcla del agua procedente del río Ebro y la cuenca del Júcar, realizado a partir de los datos referidos a la *demanda bioquímica de oxígeno* (que es uno de los parámetros que ha mostrado un comportamiento significativamente distinto en las dos cuencas hidrográficas), y teniendo en cuenta las exigencias establecidas en el caso del agua destinada al consumo humano, los resultados obtenidos para el periodo temporal 1994-2004 revelan que una hipotética mezcla del agua significaría, atendiendo al citado parámetro, un deterioro del nivel de calidad del agua controlada por las estaciones de medición seleccionadas en la cuenca del Júcar. No obstante, observando los resultados que se obtienen en los subperiodos temporales 1994-1999 y 2000-2004, se detecta una mejoría en el comportamiento promedio de la *demanda bioquímica de oxígeno*, tanto en la cuenca del Júcar como en la del Ebro.

Bibliografía.

1. Beamonte, E, Bermúdez, J., Casino, A. y Veres, E. (2004a): “La calidad del agua en ciertas estaciones de control del canal Júcar-Turía (periodo 1994-2001)”, *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, **201**, pp. 105-126.

2. Beamonte, E, Bermúdez, J., Casino, A. y Veres, E. (2004b): “Un indicador global para la calidad del agua. Aplicación a las aguas superficiales de la Comunidad Valenciana”, *Estadística Española*, **46** (156), pp. 357-384.
3. Bielsa, J. y Duarte, R. (2000): “La eficiencia técnica de riego: Análisis de las conexiones y la utilidad de sus diversas definiciones”, *Revista Española de Estudios Agrosociales y Pesqueros*, **189**, pp. 103-118.
4. Estevan, A. (2003): “El Plan Hidrológico Nacional: destapando la olla”, *Archipiélago*, **57**, pp. 43-57.
5. Naredo, J.M. (1997): “Spanish water accounts (summary report)”, in San Juan, C. y Montalvo, A. (eds.): *Environmental economics in the European Union*, Mundi-Prensa y Universidad Carlos III, Madrid, pp. 369-443.
6. Naredo, J.M. (2003): “La encrucijada de la gestión del agua en España”. *Archipiélago*, **57**, pp. 17-33.
7. Poch, M. (1999): *Las calidades del agua*, Rubes Editorial S.L., Barcelona.
8. Prada, C. de (2003): “La “racionalidad oculta” del Plan Hidrológico Nacional”, *Archipiélago*, **57**, pp. 58-68.
9. Sahuquillo, A. (2001): “El Plan Hidrológico Nacional y el uso conjunto”, en V. Iríbar, J. Grima y X. Sánchez Vila (eds.): *Las aguas subterráneas en el Plan Hidrológico Nacional*, Asociación Internacional de Hidrogeólogos. Grupo Español, Mundi-Prensa, Madrid.