

Resumen

Las aguas residuales de la ciudad de Córdoba son básicamente de tipo doméstico y analizada su calidad en el período abril/julio de 2003, se observó que las concentraciones medias son algo elevadas: 452 mg/l en SSUS, 505 en DBO₅ y 793 en DQO. Estos valores se atribuyen al uso creciente de productos de limpieza, cuya formulación contiene compuestos como citratos, oxalatos, detergentes, polialcoholes, complejantes orgánicos de dureza (AEDT, policarboxilatos...), etc., con cargas elevadas: hasta 200 mg/l de DBO₅ por ml de lavavajillas y hasta 9.000 mg/l de DQO en suavizantes. Además, el cambio de hábitos sociales que inducen a los alimentos precocinados, también contribuyen a elevar la carga asociada de aceites y grasas, así como de harinas.

La comparación entre los efluentes de viviendas unifamiliares y de bloques indicó concentraciones más altas en las segundas.

Finalmente, dado que la EDAR La Golondrina (Córdoba, 1991) ha sido diseñada para influentes de SSUS, DBO₅ y DQO inferiores a los ahora observados, la EDAR está sobrecargada, siendo necesario un replanteo de su sistema operativo para afrontar la contaminación que recibe.

Palabras clave:

Agua residual doméstica, agua residual industrial, EDAR, sólidos en suspensión, DBO₅, DQO.

Abstract**Contribution of domestic wastewater to the total pollutant loading influent to a municipal wastewater treatment plant**

A study on the purely domestic wastewater from Córdoba city (abril to July 2003) has found a pollutant loading very high on these domestic wastewaters, by showing mean values of suspended solids, BOD₅ and COD equal to, respectively, 452 mg/l, 505 mg/l and 793 mg/l. This pollutant power probably emanates from the products for domestic cleaning used in our homes, and must be associated to chemicals as citrates, oxalates, surfactants, polialcohols, organics complexing, ammonium compounds..., which show high values of pollutant loading: up to 200 mg/l of BOD₅ per ml of product have been measured on a commercial domestic dishwasher, and 9.000 mg/l of DQO for a domestic smoothing. Furthermore, the crecient use of pre-cooked foods can add to domestic wastewater fats, oils, and flours which can also increase the BOD₅ and COD values of these efluentes. On the other hand, the measured pollutant loading of domestic wastewaters from monofamily homes has been lower than those from multifamily buildings. Finally, due to the fact that the Golondrina's WWTP (Córdoba, 1991) was designed to treat values of suspended solids, BOD₅ and COD lower than those actually detected, its treatment processes should be probably modified in a near future.

Keywords:

Domestic wastewater, industrial wastewater, WWTP (Wastewater Treatment Plant), suspended solids, BOD₅, COD.

Contribución de las aguas residuales domésticas a la carga total que accede a una EDAR municipal

Por: **Rafael Marín Galvín, Luis Alonso Pérez de Siles, Fco. Javier Rojas Moreno y M^a Mar González Jiménez**

Empresa Municipal de Aguas de Córdoba S.A.
C/ Cronista Rey Díaz, 2
14006 Córdoba
E-mail: rmargal@emacsa.es

1. Introducción

Desde los años 70 del siglo pasado se está detectando una fuerte demanda social por respetar el medio ambiente, muy degradado a consecuencia de la revolución industrial, iniciada hace tres siglos por nuestra sociedad. En el caso del medio hídrico y de nuestros cauces naturales de aguas, se observa que tanto a nivel mundial, como europeo, nacional, autonómico y local se están tomando medidas normativas encaminadas a la preservación de las aguas, mediante la reducción de la carga contaminante emitida a éstas [1-6].

Recientemente, la trasposición al ordenamiento nacional de la Directiva de Control Integrado de la Contaminación [7] ha hecho que todos los responsables de depuración de aguas usadas y de control de calidad de aguas depuradas que después se vierten a nuestros cauces públicos, extremen aún más los cuidados encaminados a reducir al mínimo la carga contaminante que ingresa en nuestros ríos [8,9]. Y esto, tanto por

motivos estrictamente medioambientales, como técnicos, pero además también económicos dados los efectos disuasorios que puede representar el vertido de aguas depuradas que excedan los límites autorizados para el responsable del vertido. Como ejemplo, en la Comunidad Andaluza donde a finales de 2003 se ha aprobado una norma sobre Fiscalidad Ecológica que gravará a aquellos que más contaminen en la Comunidad (aire, aguas y suelos).

En todo caso, cualquier vertedor de aguas depuradas, bien sean domésticas, bien industriales, bien mixtas, sea su situación la de vertedor primario (es decir, a un cauce público) o de vertedor secundario (es decir, a un Sistema de Saneamiento Público) debe actuar sobre sus sistemas de depuración a fin de reducir al mínimo la carga contaminante emitida para cumplir bien normativas nacionales, bien autonómicas, bien locales (Ordenanzas de vertidos municipales) [10].

En el caso de Córdoba, la red de saneamiento de la ciudad está ges-

tionada por la Empresa Municipal de Aguas de Córdoba (EMACSA), entidad pública de titularidad municipal, que se ocupa tanto del mantenimiento de la red de saneamiento y estaciones depuradoras de aguas residuales, como de la propia explotación de estas instalaciones.

La red de saneamiento de Córdoba es unitaria, no separativa, y a ella acceden prácticamente el 100 % de las aguas residuales domésticas e industriales de la ciudad (excepto los efluentes de las barriadas periféricas que disponen de plantas depuradoras propias). Córdoba cuenta con una Ordenanza de vertidos no domésticos e industriales, cuya última actualización se publicó recientemente (4-3-2003) [10] y que regula el uso del alcantarillado municipal por los establecimientos de carácter industrial de la ciudad. En ella se establecen normas sobre caudales a verter, límites de contaminantes admisibles y actuaciones de predepuración exigibles a las industrias a fin de cumplir con esta normativa (este tema ha sido tratado en otros artículos previos de uno de los autores de este trabajo, ver referencias bibliográficas) [11,12].

En resumen, el caudal total de aguas residuales de la ciudad acceden finalmente a la EDAR La Golondrina que se encarga de su depuración y que vehicula el agua ya depurada de Córdoba, cumpliendo con los límites de emisión pertinentes, al río Guadalquivir. La **Tabla 1** presenta las características del diseño operativo de la EDAR, así como su comparación con las características reales del agua bruta residual de la ciudad en los últimos años (desde 1999 hasta el primer semestre de 2003) [13].

Como puede observarse, desde finales de los 90 se vienen detectando niveles de carga contaminante paulatinamente más altos que los históricos, y que están suponiendo un notable estrés operativo en la EDAR. Ante esta situación, y dado que los niveles contaminantes emitidos por las industrias de la ciudad no han va-

riado sustancialmente, se diseñó un estudio encaminado a comprobar si se podía establecer alguna pauta de incremento comprobado de la carga contaminante (especialmente sólidos sedimentables y en suspensión, y demandas bioquímica y química de oxígeno) en el agua residual fundamentalmente doméstica, no industrial, de la ciudad. Éste es el objetivo del presente artículo.

2. Metodología

El período de muestreo se ha extendido entre abril y julio de 2003 y por diferentes zonas y barriadas de la ciudad de Córdoba. Se han tomado un total de 35 muestras de aguas residuales domésticas, con la premisa de que procediesen de domicilios unifamiliares, o de edificios con una componente mayoritaria residencial comprobada previamente a las tomas de muestras. Se evitaron los edificios en que se tenía constancia de existir establecimientos comerciales y/o fabriles.

Se llevaron a cabo dos tipos de series de tomas de muestras. La primera puntual, en horario de máxima actividad doméstica matutina, entre las 11,00 y las 13,00 horas. Además, se tomaron muestras integradas a lo largo de 24 horas entre un día y el siguiente. Los muestreos se realizaron entre martes y viernes de cada semana, evitando los días finales e inicial de cada semana.

Se tomaron un total de 35 muestras de aguas domésticas (viviendas unifamiliares y bloques de viviendas) de las cuáles 24 fueron puntuales y 11 integradas. Finalmente, se

llevaron a cabo tomas de muestras integradas en varios puntos testigo procedentes de domicilios unifamiliares y bloques de viviendas, para comparar ambas situaciones.

Los parámetros analizados consistieron en temperatura (salvo en las muestras integradas), sólidos sedimentables (SSED), sólidos en suspensión (SSUS), pH, conductividad, demanda bioquímica de oxígeno a los cinco días (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), y aceites-grasas.

Las técnicas analíticas fueron las usuales en estudios de aguas residuales [14-17]. En particular los SSED se investigaron vía decantación de la muestra tras una hora de sedimentación en Cono Imhoff, los SSUS tras filtración y posterior secado del residuo a 108 °C, la DBO₅ mediante el método del Oxitop empleando inhibidor de nitrificación, y la DQO mediante la técnica del dicromato potásico.

Se llevaron a cabo, además, ensayos de determinación de la carga biodegradable asociada a varios productos comerciales de uso doméstico emblemáticos y de empleo rutinario en nuestros hogares: lavavajillas, lejías, detergentes para lavadoras y suavizantes. Para ello se diluyó el producto comercial en agua destilada (caso de líquidos), o se disolvió el sólido en su caso, y se procedió a la determinación de la DBO₅ o DQO del preparado, previamente sembrado con agua residual sedimentada procedente del efluente depurado de la EDAR [14,15].

Tabla 1

	Diseño	Punta	1.999	2.000	2.001	2.002	2.003(*)
Caudal, m ³ /día	108.000	10.000 m ³ /h	79.756	79.360	87.906	102.263	114.374
DBO ₅ , mg/l	290	435	599	686	481	538	392
DQO, mg/l	-	-	1.103	979	720	841	570
S _{SUS} , mg/l	300	450	794	648	536	548	482

(*) 1er semestre de 2.003

Tabla 1. EDAR La Golondrina: capacidad de depuración de diseño y real durante el período 1.999-2.003. Datos medios de caudales/día, DBO₅, DQO y S_{SUS}.

3. Resultados y discusión

3.1. Carga ligada a las aguas residuales domésticas

De la antes comentada **Tabla 1** puede deducirse que desde hace algunos años la capacidad de depuración de la EDAR está siendo sistemáticamente sobrepasada, tanto en carga contaminante, como incluso en caudal. Esto último es debido a la inclusión vía entubamiento en la red de saneamiento de la ciudad de varios cauces naturales que anteriormente desagaban al río Guadalquivir directamente. En todo caso, el agua residual bruta de la ciudad presenta, aun considerando sus altos valores de S_{SUS} , DBO_5 y DQO , una relación DQO/DBO_5 (que varía entre 2,0 y 1,4) típica para un agua residual de procedencia mayoritariamente doméstica con bajo componente industrial [18-24].

Como se indicó más arriba, la alta carga contaminante detectada sistemáticamente en el agua residual global de la ciudad motivó seguimientos más intensivos de lo habitual en las principales industrias cordobesas, tanto en lo relativo a su caudal de vertido como en la comprobación de las características contaminantes de los mismos. Los datos disponibles indica-

ron que durante el período 1999-2003, las 22 instalaciones industriales de mayor entidad de la ciudad (industrias de fabricación de bienes, metalúrgicas del cobre, levaduras, papeleras, cerveceras, precocinados, aceiteras, fabricación de bebidas refrescantes, artes gráficas..) a excepción de hospitales y centros de restauración, contribuyeron con un 3% al caudal total de agua residual que entraba a la EDAR y con una media del 10% en los S_{SUS} , y un 21% en la DBO_5 del agua bruta residual integrada de la ciudad.

Estos datos, en ausencia de otros, soportaban la hipótesis de que la alta carga contaminante debía estar asociada a un inesperado y paulati-

no incremento de la carga contaminante de la componente del agua residual esencialmente doméstica de la ciudad, que se mezclaba con el resto de aguas residuales (industriales y naturales) de Córdoba.

En este sentido, la **Tabla 2** presenta los resultados obtenidos en la investigación de las muestras de aguas residuales domésticas tomadas, tanto muestras integradas como puntuales, y la comparación de los valores hallados con los límites de la Ordenanza de Vertidos de Córdoba [10]. En una línea similar, la **Figura 1** compara los valores medios de S_{SUS} , DBO_5 y DQO de las muestras integradas y puntuales.

	Ordenanza Vert.	Integradas	Puntuales	Medias
SSSED, ml/l	10	12	8	9
DBO ₅ , mg/l	700	585	415	505
DQO, mg/l	1.250	896	752	793
SSUS, mg/l	700	464	401	452
pH	5,5 a 10,0	7,1	7,9	7,4
Grasas, mg/l	250	85	68	75

Tabla 2. Aguas domésticas, muestras integradas 24 horas y muestras puntuales, período abril a julio de 2003. Comparación con los límites de la Ordenanza de vertidos de Córdoba.

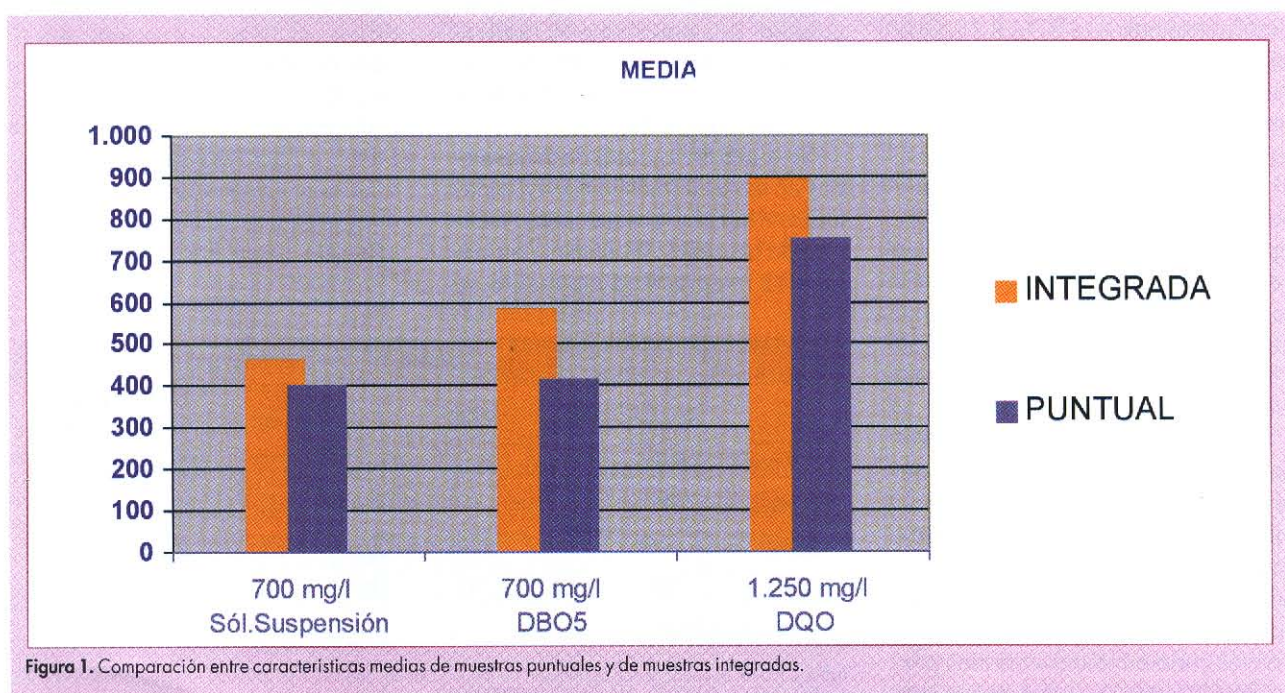


Figura 1. Comparación entre características medias de muestras puntuales y de muestras integradas.

La primera evidencia clara es que la carga contaminante de las muestras integradas era superior a las de las puntuales, indicando que existe emisión de elevadas cargas contaminantes de nuestros domicilios en período de tarde-noche [18,19]. Asimismo, el pH más bajo en las muestras puntuales se debe probablemente a procesos de entrada en fermentación de las aguas durante su período de almacenamiento en el recipiente de toma de muestras integradas.

De cualquier forma, los valores de DBO₅ y DQO se muestran inesperadamente altos, con una relación DQO/DBO₅=1,6 que califica al agua como de procedencia doméstica, pero informando sobre la presencia en la misma de una carga contaminante no directamente degradable vía biológica (DQO) y no asociada a actividades típicas de desecho fisiológico humano y otras asociadas, que aportarían fundamentalmente DBO₅ a un agua usada.

Obsérvese que los valores de S_{SUS}, DBO₅ y DQO medidos son incluso más altos que los obtenidos en el agua residual bruta que llega a la EDAR. Esta situación sólo puede explicarse por el efecto dilución provocado por las aguas naturales (arroyos, manantiales, veneros) de muy baja contaminación, integradas en el saneamiento de la ciudad como ya se comentó más arriba.

Por otro lado, esta alta carga sólo puede estar ligada a la presencia de compuestos biodegradables química (DQO) o bioquímica-biológicamente (DBO₅) y que han de proceder del uso de la multitud de diferentes compuestos de limpieza, detergentes, lejías, etc., cada vez más "potentes", precisamente por la presencia en sus formulaciones de compuestos químicos (citratos, oxalatos, polialcoholes, compuestos amoniacales...) que químicamente son moléculas carbonadas que consumen oxígeno, y por lo tanto, aumentan los valores de DBO₅ y DQO del agua al que se añaden.

Otro factor a considerar es la extensión de la utilización de alimentos precocinados

Otro factor a considerar es la extensión de la utilización de alimentos precocinados cuyos restos de aceites y grasas, así como de harinas, pueden incrementar los primeros los valores de DBO₅-DQO de un agua residual (unos 2,5 mg por cada mg de grasas [18-24]), y en el caso de las harinas, incluso, los valores de sólidos sedimentables y sólidos en suspensión del efluente.

Como resumen, el evidente cambio social que están experimentando nuestros hábitos vitales (alimentos precocinados cada vez más manufacturados -con más residuos biodegradables-, higiene personal cada vez con una gama más amplia de productos disponibles para el consumidor -ricos en compuestos residuales que llegan al agua residual doméstica-, almuerzos fuera del domicilio familiar en colegios, institutos...) todo ello está incidiendo de forma notable en las características de nuestras aguas residuales domésticas.

3.2. Investigación de carga contaminante asociada a productos comerciales

Para hacer una primera aproximación a este extremo se realizaron algunos ensayos a fin de conocer la DBO₅ o DQO asociada a disoluciones preparadas con varios productos comerciales de los empleados rutinariamente en nuestros hogares y

que tras su empleo pasarían al agua residual doméstica.

En este sentido, no se llevaron a cabo los convencionales test de biodegradabilidad recogidos en bibliografía [15, 16] puesto que se estimó que la información que se podría obtener de ellos sería menos útil y menos directamente aplicable, que la simple medida directa de la DBO₅ o la DQO de disoluciones de productos comerciales, que sí es realmente una medida de la contaminación aportada por estos productos a la red de saneamiento, y por ende, a una EDAR para su posterior depuración.

La investigación con lavavajillas comerciales indicó valores de DBO₅ comprendidos entre 46 y 196 mg/l de oxígeno por cada ml de producto disuelto en 1 litro de agua destilada. En el caso de lejías, se obtuvieron valores de DQO de 200 mg/l por cada ml de producto añadido. En una tercera serie se emplearon detergentes sólidos para lavadoras los cuáles exhibieron concentraciones de 209 mg/l de DQO por cada g de producto añadido a 1 litro de agua.

Para acabar este apartado, los resultados más inesperados por su magnitud fueron los 9.150 mg/l de DQO que aportaba cada ml de suavizante comercial para lavadoras, añadido a 1 litro de agua destilada.

Estas cantidades, y a falta de comprobación con nuevos estudios de una variedad más amplia de productos de limpieza (detergentes, limpiadores generales, desatascaadores domésticos, lejías, suavizantes, reductores de dureza, etc.) pueden alertarnos sin duda acerca de una contaminación difusa, general y de difícil control y seguimiento práctico, que nuestros hogares están continuamente arrojando a nuestros alcantarillados, y que harán progresivamente más complicado el ya complejo proceso de depuración de las aguas residuales de nuestras ciudades. Además, lógicamente, dificultará la consecución de los estándar

dares de depuración legalmente exigidos a nuestras EDARs.

3.3. Comparación entre efluentes domésticos de viviendas unifamiliares y de bloques de viviendas

Finalmente, se realizó una comparación entre la carga vertida por viviendas unifamiliares y por bloques de viviendas (cuatro casos, a título de primera comprobación, ver **Tabla 3** y **Figura 2**). Como se observa, nuestros datos indican que la carga emitida por las viviendas unifamiliares fue sensiblemente más baja que las de bloques de viviendas, lo cual puede parecer lógico habida cuenta de la aglomeración existente de personas en estos últimos, lo que implica una más alta ta-

sa relativa en el uso de productos domésticos de alta carga contaminante residual.

En este sentido, la DBO₅ media de viviendas unifamiliares (400 mg/l) era la mitad de la medida en bloques de viviendas (860 mg/l), mientras que los valores de DQO en ambas situaciones eran muy simila-

Además, debe destacarse que de la relación DQO/DBO₅ más elevada en viviendas unifamiliares que en bloques, podría, a falta de nuevas comprobaciones, inferirse un mayor efecto contaminante relativo de las primeras frente a los segundos puesto que estos efluentes presentaron más cantidad de contaminación refractaria a un tratamiento depurativo biológico, es decir, una más elevada proporción relativa de DQO frente a DBO₅.

Por último, debe notarse que los valores medios de todas las muestras tomadas, tanto viviendas unifamiliares como bloques de viviendas y muestras integradas y muestras puntuales, son relativamente próximos a los límites establecidos en la Ordenanza de vertidos industriales de Córdoba para este tipo de efluentes: por ejemplo, 505 mg/l en DBO₅ frente a 700 mg/l, y 793 mg/l en DQO frente a 1.250 mg/l. Esto podría indicar, si los resultados se confirman con muestreos a más largo plazo, y dado que los límites de la Ordenanza de Córdoba no son muy distintos de los del resto de Ordenanzas de nuestro país, que habrá que modificar estos límites al alza,

La carga de las viviendas unifamiliares es más baja que la de bloques de viviendas

	Unifamiliar	Bloque
DBO ₅ , mg/l	400	860
DQO, mg/l	830	930
S _{SUS} , mg/l	369	543

Tabla 3. Carga contaminante de viviendas unifamiliares y de bloques de viviendas.

res (830 mg/l vs 930 mg/l). Por su parte, los S_{SUS} representaron una situación intermedia entre los anteriores (369 mg/l vs 543 mg/l).

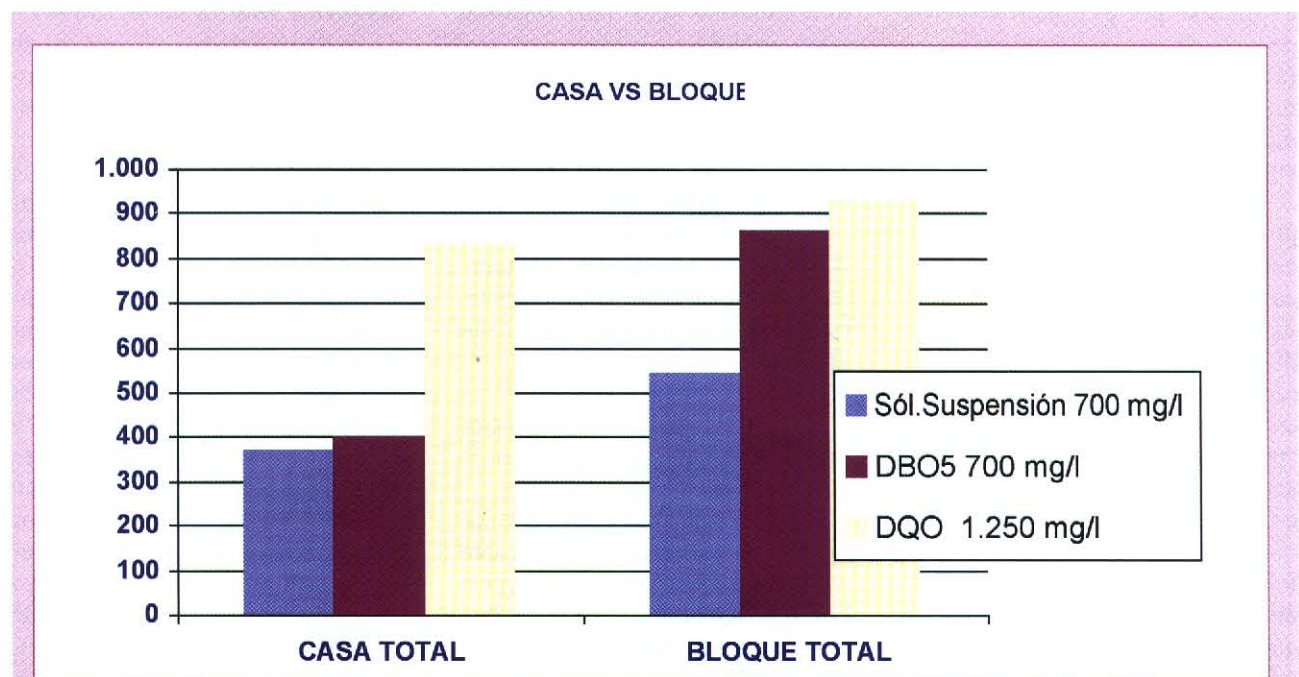


Figura 2. Comparación entre características medias de muestras de aguas domésticas de viviendas unifamiliares y de bloques de viviendas.

así como que habrá que prever procesos de depuración más eficientes en un próximo futuro para las depuradoras de nuestras ciudades.

Como resumen de todo lo expuesto, la validez de los datos aportados en este estudio requeriría la realización de estudios similares en otras ciudades de nuestro entorno (españolas y europeas) a fin de corroborar la tendencia detectada en nuestro seguimiento y en nuestra ciudad.

4. Conclusiones

De las evidencias aportadas hasta ahora se deduce lo siguiente:

La carga aportada por las aguas domésticas al agua bruta residual de la ciudad parece ser una fuente a considerar en el incremento de carga contaminante observado en los últimos años.

Esta carga procede de los productos de limpieza, cada vez más potentes, que se utilizan habitualmente en nuestros hogares, y puede estar asociada a los compuestos como citratos, oxalatos, detergentes, polialcoholes, complejantes orgánicos de dureza (AEDT, policarboxilatos...), compuestos amoniacales, etc., existentes en las formulaciones de estos productos, y que presentan valores de cargas biodegradables sorprendentemente elevados.

El uso cada vez más frecuente de alimentos precocinados también debe contribuir al incremento de la carga del agua residual por el vertido asociado que suponen de aceites y grasas, así como de restos de harinas. Los dos factores anteriores demuestran la notable incidencia que el cambio de nuestros hábitos sociales en los últimos diez-quinze años está teniendo sobre nuestras aguas residuales urbanas.

Finalmente, dado que el diseño de la EDAR La Golondrina (puesta en servicio en 1991) contemplaba valores admisibles de SSUS, DBO₅ y DQO sensiblemente inferiores a los actualmente observados, la EDAR presenta una capacidad de depuración inadecuada para tratar la carga

que diariamente soporta, siendo necesario por tanto un replanteamiento de su sistema operativo para afrontar la contaminación que recibe.

5. Bibliografía

- [1] RD 849/1986, de 11-4-1.986, BOE 103, de 30-4-1.986, aprobando el Reglamento del Dominio Público Hidráulico.
- [2] RD 927/1988, de 29-7-1.988, BOE 209, de 31-8-1.988, aprobando el Reglamento de la Administración Pública del Agua.
- [3] RD 995/2000, de 2-6-2.000, BOE 147, de 20-6-2.000, fijando objetivos de calidad para determinadas sustancias contaminantes y modificando el Reglamento del Dominio Público Hidráulico.
- [4] Ley 10/2001, de 5-7-2.001, BOE 161, de 6-7-2.001, del Plan Hidrológico Nacional.
- [5] RD Legislativo 1/2001, de 20-7-2.001, BOE 176, de 24-7-2.001, aprobando el texto refundido de la Ley de Aguas.
- [6] RD 606/2003, de 23-5-2.003, BOE 135, de 6-6-2.003, modificando el RD 849/1986 que aprobaba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico.
- [7] Ley 16/2002, de 1 de julio, BOE 157, de 2-7-2.002, de Prevención y Control Integrados de la Contaminación.
- [8] Resolución de 28-4-1.995, BOE 113, de 12-5-1.995, aprobando el Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales.
- [9] RD 509/1996, de 15-3-1.996, BOE 77, de 29-3-1.996, que establece normas sobre tratamiento de aguas residuales urbanas.
- [10] Ordenanza de vertidos no domésticos e industriales de Córdoba, B.O.P. de Córdoba nº 32, de 4-3-2.003 (descargable desde la página web de EMACSA <http://www.emacsa.es>).
- [11] R. Marín Galvín. Ordenanza de vertidos industriales al alcantarillado de Córdoba: Diez años de vigencia (1988-98). *Tecnología del Agua*, 183 (1998) 65-79.
- [12] R. Marín Galvín. Vigilancia y control de los principales vertidos industriales a la red de saneamiento de Córdoba. *Tecnología del Agua*, 228 (2002) 48-58, y referencias citadas allí.
- [13] Memorias anuales de EMACSA 1999, 2000, 2001 y 2002. Editadas por EMACSA
- [14] AAWA. Standard Methods for the examination of water and wastewater, 17ª ed. Washington (1997).
- [15] J. Rodier. *Análisis de Aguas*. Ed. Omega S.A., Barcelona (1989).
- [16] R. Marín Galvín. *Análisis de Aguas y Ensayos de Tratamiento. Principios y Aplicaciones*. Ed. GEPESA, Barcelona (1995).
- [17] R. Marín Galvín. *Fisicoquímica y Microbiología de los Medios Acuáticos. Tratamiento y Control de Calidad de Aguas*. Ed. Díaz de Santos, Madrid (2003).
- [18] F. Meink, H. Stooff y H. Kohlschütter. *Les eaux résiduaires industrielles*. Ed. Masson. París (1977).
- [19] Metcalf y Eddy Inco. *Wastewater Engineering. Treatment and reuse*, 4th ed. Ed. Mc Graw Hill, New York (2003).
- [20] H.H. Han y R. Klute. *Chemical water and wastewater treatment*. Ed. Springer-Verlag, Darmstad (1990).
- [21] M.A. Winkler. *Tratamiento biológico de las aguas de desecho*. Ed. Limusa-Noriega, México (1993).
- [22] J. Catalán Lafuente. *Depuradoras: Bases científicas*. Ed. Bellisco, Madrid (1997).
- [23] Degrémont. *Manual Técnico del Agua*. Vol. 1 y 2, París (1998).
- [24] N.L. Nemerow y A. Dasgupta. *Tratamiento de vertidos industriales y peligrosos*. Ed. Díaz de Santos, Madrid (1998).