

ESTUDIO DE LOS FLUJOS DE CONTAMINACIÓN MOVILIZADOS EN TIEMPO DE LLUVIA EN UN SISTEMA DE SANEAMIENTO Y DRENAJE UNITARIO EN UNA CUENCA DEL NOROESTE DE ESPAÑA

Study of the mobilized pollution in a combined sewer during rain events in a catchment in the northwest of Spain.

Héctor Del Río Cambeses¹
Joaquín Suárez López²
Jerónimo Puertas Agudo²
Alfredo Jácome Burgos²
Montserrat Martínez Puentes³
Anna Llopert-Mascaró Bassols³
Rubén Ruiz Arriazu³
Pere Malgrat Bregolat³



Dirección de contacto: Campus de Elviña s/n, – A Coruña. – Código Postal: 15071 – ESPAÑA.
Tel.:(0034)981.167.000 – extensión: 5430. Fax: (0034)981.167.170. e-mail: hrio@udc.es

Abstract

Sanitation and drainage systems have evolved throughout history, representing a compromise between the needs of hygiene, human welfare, needs and expertise and the resources available. However, technical and social demands have changed, with more intensity in the last 20 years, and some of the old practices are no longer accepted. New engineering designs of sanitation and urban drainage are motivated primarily by the new set of objectives of protecting the aquatic environment imposed by the European Water Framework Directive.

This communication presents the results of concentrations and loads mobilized from conventional pollution parameters, COD, BOD₅, total nitrogen and ammonia, suspended solids, turbidity and fecal coliforms for 10 rainfall events in a combined catchment in northwest of Spain. The results were compared with those obtained in other catchments studied in Spain, reaching the settlement of knowledge on the characterization of combined sewer overflows (CSO) and the management problems of pollution mobilized during rain events in urban sanitation and drainage systems.

KeyWords: combined sewer, CSO, EMC, polutographs, stormwater pollution.

¹ Universidade da Coruña. Investigador Contratado en el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente (GEAMA) – Centro de Innovación Tecnológica en Edificación e Ingeniería Civil. (CITEEC). hrio@udc.es

² Universidade da Coruña.

³ Clavegueram de Barcelona, S.A - CLABSA

ESTUDIO DE LOS FLUJOS DE CONTAMINACIÓN MOVILIZADOS EN TIEMPO DE LLUVIA EN UN SISTEMA DE SANEAMIENTO Y DRENAJE UNITARIO EN UNA CUENCA DEL NOROESTE DE ESPAÑA

Resumen

Los sistemas de saneamiento y drenaje han ido evolucionando a lo largo de la historia, representando un compromiso entre las necesidades higiénicas, el bienestar humano, las necesidades y conocimientos técnicos y los recursos disponibles. No obstante, las técnicas y demandas sociales han ido cambiando, con más intensidad en los últimos 20 años, y algunas de las antiguas prácticas ya no son aceptadas. Los nuevos diseños en ingeniería del saneamiento y drenaje urbano están motivados fundamentalmente por el nuevo conjunto de objetivos de protección del medio acuático que impone la europea Directiva Marco del Agua.

En esta comunicación se presentan los resultados obtenidos en concentraciones y cargas movilizadas de parámetros de contaminación convencionales, DQO, DBO₅, nitrógeno total y amoniacal, sólidos en suspensión, turbidez y coliformes fecales durante 10 eventos pluviométricos en una cuenca de saneamiento y drenaje unitario del noroeste de España. Los resultados obtenidos se comparan con los obtenidos en otras cuencas estudiadas por los autores en otros lugares de España, llegándose al asentamiento de conocimiento sobre la caracterización de las descargas de los sistemas unitarios (DSU) y de la problemática de la gestión de la contaminación generada en tiempo de lluvia en los sistemas urbanos de saneamiento y drenaje unitarios.

Palabras clave: alcantarillado unitario, CMS, contaminación en tiempo de lluvia, DSU, polutogramas.

Introducción

Los sistemas de saneamiento y drenaje unitarios de las ciudades deben transportar en tiempo de lluvia además de las aguas residuales urbanas de tiempo seco, las aguas de escorrentía generadas en la cuenca durante los aguaceros. Después de un fuerte desarrollo en infraestructuras de depuración de aguas se comprobó que en muchos países la calidad de las masas de agua no era todavía satisfactoria. Se observó que una gran parte del problema era originado por los vertidos intermitentes que se producían durante y después de las lluvias desde los alcantarillados unitarios de los núcleos urbanos. Este tipo de vertidos se denominan reboses de alcantarillado unitario (RAU), descargas de sistemas unitarios (DSU) o “Combined Sewer Overflows” (CSO) en la literatura anglosajona. El impacto en los ríos y lagos causados por los DSU es considerado como una importante fuente de contaminación. Este problema se señaló por primera vez en los años 70 y ha sido estudiado en el transcurso de las últimas décadas (Butler y Davies, 2000). Este tipo de vertidos son variables con respecto al volumen vertido al medio, las concentraciones de contaminantes y la periodicidad. Es muy importante conocer la concentración máxima de cada contaminante, que permite la evaluación de los efectos agudos (efectos inmediatos) en las aguas receptoras y su hábitat y la concentración de media de suceso (CMS) la cual determina la masa total vertida (efectos inmediatos y efectos a largo plazo). Estos contaminantes alterarán la calidad de las masas de agua receptoras y los ecosistemas acuáticos.

La problemática de la contaminación de los sistemas unitarios en tiempo de lluvia

La concentración de la población en los núcleos urbanos y en las ciudades ha implicado un aumento de la urbanización de suelos y, por tanto, de su impermeabilidad. La impermeabilización de las cuencas conlleva un aumento en los volúmenes de escorrentía y un aumento de las velocidades de los flujos naturales, reduciendo los tiempos de concentración de las cuencas naturales; también implica un aumento de la temperatura del agua, caudales basales más bajos durante la época de estiaje y niveles de contaminación más elevados. Las redes naturales son sustituidas por las redes de alcantarillado y drenaje, que cada vez deben gestionar volúmenes y caudales máximos mayores.

Además, la concentración de actividades humanas genera deposición de polvo, suciedad, arenas, materia orgánica, nutrientes, metales pesados, tóxicos y contaminación bacteriológica sobre las superficies. Estos materiales son lavados y arrastrados por la escorrentía superficial y, al final, acaba llegando a las masas de agua receptoras

pudiendo llegar a generar impactos significativos. Evidentemente, como consecuencia de las diferentes actividades y usos que se realizan en ellas, una cuenca natural, una cuenca rural, una cuenca urbana o una cuenca industrial, tendrán aguas de escorrentía con muy diferentes tipos y cargas de contaminación, por lo que las estrategias de gestión de esas aguas (técnicas de regulación, tratamiento, medio final receptor, etc.) también deberán ser diferentes.

En los sistemas unitarios las interacciones entre los principales componentes del sistema son más importantes que en los sistemas separativos. En tiempo de lluvia las redes unitarias deben transportar, además de las aguas residuales de tiempo seco, las aguas pluviales. La red de saneamiento se ha dimensionado tradicionalmente para transportar hacia un determinado punto (generalmente hacia una EDAR) el caudal de agua residual y el caudal de lluvia correspondiente a una lluvia con un determinado período de retorno. Cuando la lluvia genera un caudal de agua que la red no puede transportar la práctica tradicional consistía en verterlo al medio receptor mediante aliviaderos. El conjunto de estos aliviaderos, algunos situados aguas arriba y otros en la propia EDAR, determinan las cargas hidráulicas y de contaminación que deberá procesar la depuradora y, también, las presiones sobre el medio receptor.

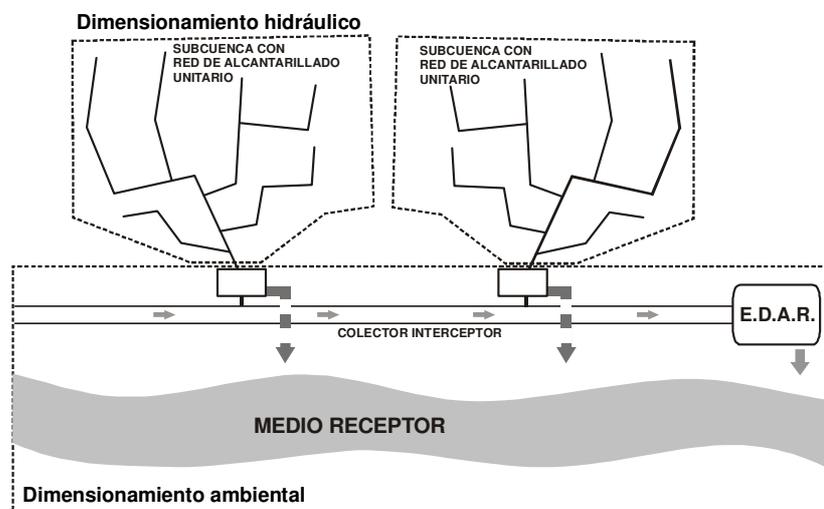


Figura 1: Criterios de dimensionamiento de colectores en función de la situación dentro del sistema de saneamiento.

Históricamente, el criterio de diseño de los aliviaderos en una solución de saneamiento se ha basado en la dilución. Las hipótesis básicas de este método es que las aguas de lluvia procedentes de la cuenca están limpias (“aguas blancas”). En el momento en que se inicia el rebose por el aliviadero, tanto el caudal vertido como el que continúa por los colectores hacia la EDAR presentan la misma dilución, que es la de diseño. Dependiendo de la bibliografía que se consulte, el valor de la dilución de diseño varía notablemente. Las cifras habituales oscilan entre 3 y 6, aunque es posible encontrar valores de 9 y de 10 (algunas normas establecen la dilución sobre el caudal medio mientras que otras lo hacen sobre el caudal punta de tiempo seco). Este criterio de “diluciones” incluso se ha llegado a aplicar a los caudales a admitir en las diferentes etapas de una EDAR. Hoy en día es sabido que las aguas «blancas» no son tales y que la contaminación movilizada en las mismas es importante y que los descargas de los sistemas unitarios (DSU) en tiempo de lluvia al medio receptor implican concentraciones y cargas de contaminación muy importantes.

Cuando se estudia la problemática de presiones o impactos de un sistema de saneamiento o drenaje sobre un medio acuático hay que diferenciar tres tipos de fenómenos de contaminación asociados con las aguas pluviales:

- El primero es el generado por las aguas de escorrentía contaminada que llega de forma directa, o a través de redes de alcantarillado separativas o redes de drenaje urbano de pluviales, a las masas de agua receptoras. Son aguas que han lavado las calles, los tejados, etc., y que transportan contaminante de todo tipo.

- El segundo tipo de fenómeno de contaminación que es el generado por las Descargas de los Sistemas Unitarios, DSUs (CSO en la literatura anglosajona), con aguas que son mezcla de aguas pluviales contaminadas y aguas residuales urbanas convencionales. En estas últimas redes hay que tener muy en cuenta el fenómeno de resuspensión de los depósitos de sedimentos y biopelículas existentes en la red, resultado de la sedimentación de partículas y contaminación permitida por el régimen hidráulico existente durante el período seco.
- El tercer problema de contaminación asociado a las aguas de escorrentía es el generado en las depuradoras. La punta de caudal que asume la red y las fuertes oscilaciones de concentraciones acaban llegando a la depuradora y, si supera su capacidad de tratamiento, también se produce un vertido en tal punto. Además, los procesos biológicos de depuración pueden quedar fuertemente alterados, provocando una bajada de rendimientos, que puede llegar a durar semanas, que acaba afectando finalmente a la calidad de las aguas en el medio receptor.

Los tres tipos de vertidos citados se diferencian en los volúmenes vertidos, en las concentraciones de contaminantes (medias y máximas), y en las fases y períodos de descarga.

Las características de la contaminación de las descargas de los sistemas unitarios (DSU), o reboses de alcantarillados unitarios (RAU), está fuertemente determinada por las características de las aguas residuales urbanas de tiempo seco, de los usos que se realizan en la superficie de las cuencas urbanas que luego van a ser lavadas por las aguas de escorrentía, y por el arrastre de materiales y fangos depositados en las conducciones durante períodos secos y, por lo tanto, del diseño y mantenimiento de la red.

Los impactos de las DSU pueden ser muy negativos. Determinan una pérdida muy importante de la eficacia del sistema, cuyo fin es la protección del medio acuático receptor frente a todos los tipos de contaminación. La incorporación de Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible (TDUS determina una nueva relación entre las fuentes de contaminación, los caudales, los sistemas de transporte, las depuradoras y el medio receptor. Una visión integral de la gestión del sistema que minimice los impactos y permita alcanzar los objetivos de calidad de los sistemas acuáticos fijados obliga a desarrollar una estrategia de control total de la contaminación. La contaminación que se permita entrar a la red de saneamiento desde la cuenca (por escorrentías o por aguas residuales urbanas), las transformaciones que dicha contaminación sufra en la red, la capacidad de transporte de la red y las diluciones que se permitan en los reboses, los sistemas de control y tratamiento que se implanten a lo largo de la red, determinarán qué tipo de aguas residuales, caudales y cargas recibirá la EDAR, los cuales condicionarán su diseño y sus estrategias de explotación.

En la literatura anglosajona las TDUS son denominadas «Best Management Practices» (BMP) y su uso está ampliamente extendido. En Europa, cuando estas técnicas están orientadas a la gestión de las aguas de escorrentía en la superficie de la cuenca se ha adoptado el nombre de “Sustainable Urban Drainage Systems” (SUDS).

Los estudios que se presentan a continuación son parte de los trabajos desarrollados en el Proyecto SOSTAQUA - “DESARROLLOS TECNOLÓGICOS PARA UN CICLO URBANO DEL AGUA AUTOSOSTENIBLE. Línea de trabajo: 3.- Valorización de aguas pluviales”.

Objetivos

El principal objetivo de esta comunicación es presentar el análisis de los flujos de contaminación movilizados en tiempo de lluvia en la cuenca unitaria del “Ensanche” (superficie de 20 ha, 13000 hab.) en Santiago de Compostela, capital de la Comunidad Autónoma de Galicia, en el noroeste de España y su comparación con otras cuencas estudiadas. Esta cuenca presenta unas características de densa urbanización con usos comercial y residencial, alta impermeabilización y pendiente media moderada. En este estudio se determinan las concentraciones y cargas de contaminación que transitan por la red de alcantarillado durante los sucesos de lluvia. Se estudia el comportamiento hidrológico-hidráulico de la cuenca y la movilización de los flujos de contaminación con el fin de examinar la existencia del fenómeno del primer lavado. Este tipo de análisis permite diseñar de forma óptima los sistemas de control y tratamiento que minimicen los impactos sobre los medios receptores.

Metodología

Se seleccionó el emplazamiento de la sección de control en un punto de la red de alcantarillado aguas abajo de la cuenca y se dotó de la instrumentación necesaria para el estudio (un caudalímetro Hach Sigma 950, un tomamuestras automático Sigma 900) y, en el seno de la cuenca, se instaló un pluviómetro para el conocimiento de los hietogramas de los aguaceros. Las medidas de caudal eran enviadas a un servidor “online” mediante un módulo de comunicación de datos por GPRS.

Una vez instalada la sección de control, la metodología de trabajo consistió en:

- Campaña de tiempo seco: toma de muestra cada 3 horas durante varios días de tiempo seco (6, entre laborables y fin de semana) para la determinación de las concentraciones y cargas de contaminación asociadas a las aguas residuales urbanas generadas en la cuenca en tiempo seco.
- Campañas en tiempo de lluvia: consisten en caracterizar eventos o sucesos de lluvia; el arranque del tomamuestras automático en tiempo de lluvia se realiza mediante una señal de alarma enviada desde el caudalímetro de la sección; la toma de muestra se realiza a intervalos más cortos en el comienzo del hidrograma del suceso. En total se tomaron 8 muestras a lo largo de los 10 sucesos caracterizados.



Figura 2: Sección de control (izq.) e instrumentación instalada en el colector (dcha.).

Los parámetros convencionales de contaminación medidos en ambas campañas han sido: DQO, DQO soluble, DBO₅, carbono orgánico total y disuelto (COT y COD), nitrógeno total y amoniacal, fósforo total y fosfatos, sólidos en suspensión, sólidos en suspensión volátiles, sólidos disueltos, sólidos disueltos volátiles, sólidos totales, sólidos totales volátiles, turbidez, conductividad a 20°, pH y alcalinidad. También se realizó la medida de metales pesados, sustancias peligrosas prioritarias, y de sustancias de cuidado personal y medicamentos. En esta comunicación se muestran algunos de los valores medidos.

Una vez tomadas las muestras las actividades que se realizaron fueron las siguientes:

- Trabajo de laboratorio: determinaciones analíticas de los parámetros de contaminación considerados en las muestras obtenidas tanto de los días de tiempo seco como de los sucesos de lluvia estudiados.
- Trabajo de gabinete: elaboración de los hidrogramas y polutogramas de cada contaminante en los sucesos de lluvia estudiados, identificación de las proporciones asociadas a las aguas residuales de tiempo seco y determinación y análisis de los flujos máxicos asociados a la escorrentía urbana para cada contaminante, parametrización de los sucesos de lluvia, análisis estadístico de los resultados y comparación con otras cuencas unitarias estudiadas.

Resultados

La información obtenida en este estudio para cada contaminante ha sido: concentración máxima de suceso (CMAX), concentración media de suceso (CMS), flujo máxico instantáneo máximo, masa movilizada, % de masa

correspondiente a escorrentía, carga específica movilizada por hectárea o por km·m de red (CMOV), coeficiente de forma para análisis de primer lavado.

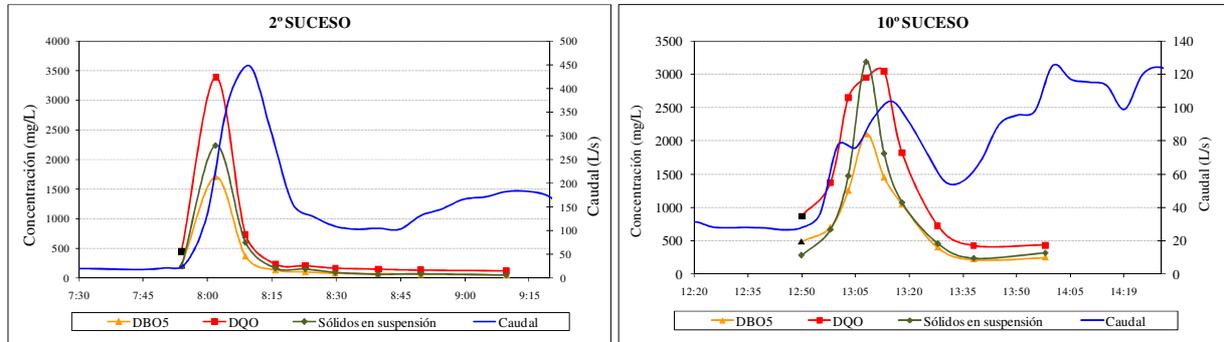


Figura 3: Hidrogramas y polutogramas de DQO, DBO₅ y SS en el 2º y 10º sucesos de lluvia muestreados.

Los parámetros de contaminación más significativos DQO, DBO₅ y SS tienen un comportamiento de primer lavado que puede apreciarse, a modo de ejemplo, en las gráficas anteriores.

Los resultados obtenidos de concentraciones máximas y medias (CMS) de suceso obtenidos en la cuenca del “Ensanche” en tiempo de lluvia se presentan en la siguiente tabla resumen.

TABLA 1: Concentraciones máximas y CMS de suceso obtenidos en la cuenca unitaria del “Ensanche”.

		SUCESOS	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º
PRECIPITACIONES	Duración del tiempo seco precedente (días)		13,58	4,83	3,46	0,813	6,91	0,167	6,146	0,167	14,42	22,93
	Precipitación total (mm)		1,2	9,7	4,4	2,0	1,8	2,6	4,6	1,4	1,1	4,2
	Intensidad media de suceso (mm/h)		0,9	6,5	1,5	1,5	1,8	2,6	3,1	4,2	1,3	2,8
	Intensidad 10minutal máxima (mm/h)		1,8	12,6	4,2	3,6	2,4	7,2	4,8	4,8	3,0	4,8
CAUDALES DEL SUCESO MUESTREADO (L/s)	Mínimo		28,5	102,1	51,0	28,9	25,2	46,5	75,0	33,7	40,7	36,1
	Máximo		90,6	446,8	133,1	132,6	107,5	91,3	169,5	204,5	106,1	125,0
	Medio		49,5	183,8	98,4	58,0	64,0	65,1	135,4	75,6	56,8	81,2
	Coef. punta (Qmax/Qmin)		3,2	4,4	2,6	4,6	4,3	2,0	2,3	6,1	2,6	3,5
	Q max / Q medio de tiempo seco		4,0	19,9	5,9	5,9	4,8	4,1	7,6	9,1	4,7	5,6
CONCENTRACIONES MÁXIMAS DE SUCESO (mg/L)	DQO		886	3388	1639	1221	2142	1273	3062	1081	3868	3044
	DQO soluble		187	452	255	231	202	282	369	168	439	429
	DBO ₅		580	1700	946	540	1328	620	1650	580	2100	2100
	N-NH ₄ ⁺		53	34	30	50	35	29	38	22	57	31
	SS		437	2240	804	636	1580	568	1668	572	2708	3185
	Turbidez (UFT)		245	740	357	260	548	237	598	190	717	1570
	CF (ufc/100 mL)		7.0E+07	1.8E+07	2.1E+07	1.3E+07	4.5E+07	4.3E+07	6.0E+07	8.6E+07	2.0E+08	1.2E+08
CONCENTRACIONES MEDIAS DE SUCESO (mg/L)	DQO		652	536	860	909	1049	707	821	512	2405	1175
	DQO soluble		169	76	139	139	98	184	89	89	263	204
	DBO ₅		405	260	426	438	609	368	405	263	1348	655
	N-NH ₄ ⁺		50	10	15	25	16	22	11	10	42	14
	SS		278	362	471	450	555	304	383	263	1447	811
	Turbidez (UFT)		158	124	200	199	203	140	162	114	467	415
	CF (ufc/100 mL)		5.1E+07	6.7E+06	6.3E+06	1.0E+07	1.6E+07	1.7E+07	1.5E+07	3.7E+07	1.2E+08	6.8E+07

Los resultados obtenidos en la campaña de tiempo de lluvia se compararon con los de la campaña de tiempo seco, llegándose a la afirmación de que el agua pluvial unitaria contiene un grado de contaminación igual o superior al agua residual de tiempo seco. A continuación se exponen los resultados obtenidos para la DQO y los sólidos en suspensión.

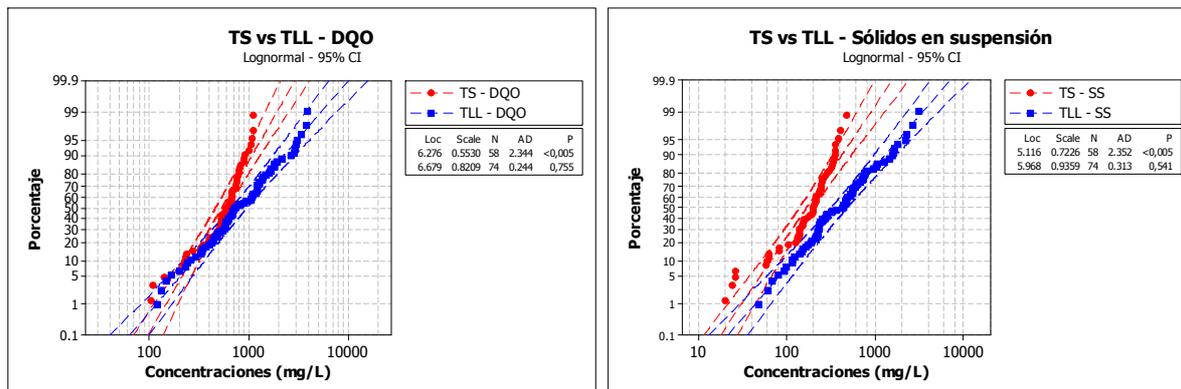


Figura 4: Distribuciones de probabilidad acumulada para las concentraciones de DQO (izq.) y SS (dcha.) en tiempo seco y tiempo de lluvia en la cuenca del “Ensanche”.

Se han comparado los resultados obtenidos en la cuenca del “Ensanche” con los de otras cuencas unitarias estudiadas en España y en la siguiente tabla resumen se aprecia la concordancia en gran número de parámetros de contaminación entre ellas.

TABLA 2: Comparación de CMAX, CMS y CMOV obtenidas en distintas cuencas unitarias españolas.

			ENSANCHE	CANCELÓN	RIERA D'HORTA	PROMEDSU
DQO	CMAX	(mg/L)	3868	2497	4272	3260
	CMS		963	224	988	669
	CMOV	(kg / ha)	12.5	2.8	--	--
		(kg/ km-m)	75.2	26.9	--	--
DQO soluble	CMAX	(mg/L)	452	538	457	--
	CMS	263	112	351		
DBO ₅	CMAX	(mg/L)	2100	760	--	1625
	CMS		518	68	--	394
	CMOV	(kg / ha)	6.3	0.7	--	--
		(kg/ km-m)	38.1	6.8	--	--
N amoniacal	CMAX	(mg/L)	57	30	104	76
	CMS		21.4	15.5	18.4	2.8
	CMOV	(kg / ha)	0.11	0.02	--	--
		(kg/ km-m)	0.65	0.22	--	--
SS	CMAX	(mg/L)	3185	3052	3100	3394
	CMS		532	328	1025	613
	CMOV	(kg / ha)	7.6	5.0	--	--
		(kg/ km-m)	45.6	47.7	--	--
Turbidez	CMAX	(NTU)	1570	--	1500	548
	CMS		218	--	585	198
Bacteriología	CMAX	(UFC/100 mL)	2.0E+08 (CF)	--	4.0E+08 (EC)	2.6E+08 (CF)
	CMS		3.5E+07 (CF)	--	2.6E+07 (EC)	2.3E+07 (CF)

CMAX: valor máximo obtenido en la caracterización de los sucesos de lluvia de la cuenca

CMS: valor medio de las CMS obtenidas en la caracterización de los sucesos de lluvia de la cuenca

CMOV: valor medio de la CMOV obtenida en la caracterización de los sucesos de lluvia de la cuenca

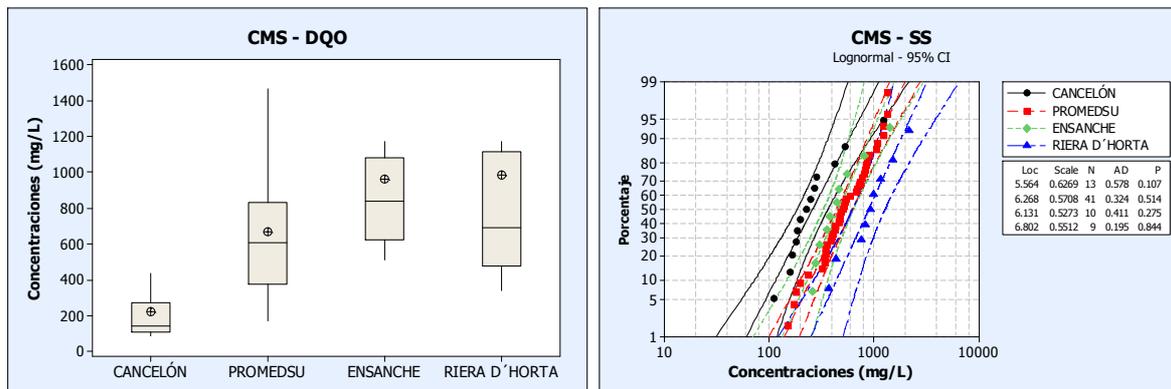


Figura 5: Tratamiento estadístico de los datos obtenidos para comparación entre cuencas: gráfica “box-whisker” de CMS de DQO (izq.) y distribuciones de probabilidad acumulada para los SS (dcha.).

Conclusiones

La contaminación evacuada en tiempo de lluvia en sistemas unitarios es superior en general a la evacuada en tiempo seco. No cabe hablar de dominancia de la dilución sino de la resuspensión de sedimentos desde la red, fenómeno que enmascara y anula a la dilución y ofrece enormes picos de contaminación y valores promedio similares y en general por encima de los correspondientes al agua residual. Esta tendencia es más acusada en lluvias intensas, con capacidad de arrastre de sedimentos, y más evidente en contaminantes asociados a la fracción sólida (los propios sólidos, la DQO, etc).

Las cuencas unitarias siguen un patrón de comportamiento muy uniforme. La comparación entre la cuenca de “Ensanche” y el promedio de las cuencas del programa PROMEDSU ofrece tendencias muy similares para la globalidad de los parámetros analizados.

El carácter urbano de la cuenca de “Ensanche” es esencial, ofrece valores de contaminación algo por encima del promedio de PROMEDSU. La cuenca de “Cancelón”, semiurbana, ofrece valores netamente inferiores a este promedio.

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la problemática de la gestión de la contaminación movilizada en tiempo de lluvia en los sistemas de saneamiento unitario de las ciudades. Para ello es necesario dotar con sistemas de control y tratamiento de reboses (SCTR) a las redes unitarias para una adecuada gestión de los caudales y cargas de contaminación generados en tiempo de lluvia y, de este modo, conseguir los objetivos de calidad fijados para los medios acuáticos receptores.

Referencias Bibliográficas

- CEDEX (2008). “Gestión de las aguas pluviales. Implicaciones en el diseño de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano”; Ed. J. Puertas, J. Suárez y J. Anta; Madrid. ISBN 978-84-7790-475-5.
- SOSTAQUA (2010) - DESARROLLOS TECNOLÓGICOS PARA UN CICLO URBANO DEL AGUA AUTOSOSTENIBLE. Línea de trabajo: 3.- Valorización de aguas pluviales. CDTI –Proyectos CÉNIT. Participantes: CLABSA, AGBAR, EMUASA, Universidade da Coruña.
- Butler, D.; Davies, J.W. (2000) *Urban Drainage* E&FN SPON, London, 489 pp.
- PROMEDSU (2002). “Asistencia técnica para la redacción de una experiencia piloto de medición y estudio de las descargas de sistemas unitarios (DSU) del alcantarillado a los medios receptores en tiempo de tormenta, en varios municipios españoles. Informe final, Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas. Subdirección General de Tratamiento y Control de Calidad de las Aguas. Ministerio de Medio Ambiente.
- Suárez, J. y Puertas, J. (2005) Determination of COD, BOD, and suspended solids loads during combined sewer overflow (CSO) events in some combined catchments in Spain, *Ecological Engineering* **24** (3): 201-219.