

# ESTUDIO DE LOS FLUJOS DE CONTAMINACIÓN GENERADOS EN TIEMPO DE LLUVIA EN UNA CUENCA SEPARATIVA DEL NOROESTE DE ESPAÑA

*Study of the mobilized pollution in a storm sewer system during rain events in a catchment in the northwest of Spain.*

Joaquín Suárez López<sup>1</sup>  
Héctor Del Río Cambeses<sup>2</sup>  
Alfredo Jácome Burgos<sup>2</sup>  
Montserrat Martínez Puentes<sup>3</sup>  
Anna Llopart-Mascaró Bassols<sup>3</sup>  
Rubén Ruiz Arriazu<sup>3</sup>  
Pere Malgrat Bregolat<sup>3</sup>  
Pablo Ures Rodríguez<sup>2</sup>  
Vicente Jiménez Fernández<sup>2</sup>  
Jerónimo Puertas Agudo<sup>2</sup>



Centro de Innovación Tecnológica en Edificación e Ingeniería Civil. (CITEEC), Universidade da Coruña (UdC). Campus de Elviña s/n, A Coruña 1507, ESPAÑA. Telf: (0034)981.167.000 – Ext: 1456. e-mail: [jsuarez@udc.es](mailto:jsuarez@udc.es)

## **Abstract**

*The concentration of human activities generates deposition of dust, dirt, sand, organic matter, nutrients, heavy metals, toxic and bacterial pollution on watershed surfaces. The water runoff generated from rainfall events dissolves and carries these materials and finally spills them into receiving water.*

*In this communication, some results obtained in the characterization of wet weather flows (flow rate and pollution) in a storm drainage are presented. A complete characterization is performed from the analysis of hydrographs and associated pollutographs.*

*Values obtained are compared with some references in order to delimit their importance. The results obtained characterize flows measured as medium-low polluted as runoff water.*

**KeyWords:** *Runoff, pollution, EMC, pollutographs, TEDUS, SUDS, BMP.*

<sup>1</sup> UNIVERSIDAD DE LA CORUÑA. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos por la Universidad de Cantabria. Profesor Titular de Universidad en la E.T.S. Ing. Caminos, Canales y Puertos de la Universidade da Coruña. Coordinador de Ingeniería Sanitaria y Ambiental en el Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente (GEAMA). Campus de Elviña s/n, A Coruña 1507, ESPAÑA.

<sup>2</sup>Universidade da Coruña.

(E-mail: [jsuarez@udc.es](mailto:jsuarez@udc.es)). Telf: (0034)981.167.000 – Ext: 1456

<sup>3</sup>Clavegueram de Barcelona, S.A - CLABSA. C/ Acer, 16, 2a planta. 08038 - Barcelona (ESPAÑA). Tel. 932896800

# ESTUDIO DE LOS FLUJOS DE CONTAMINACIÓN GENERADOS EN TIEMPO DE LLUVIA EN UNA CUENCA SEPARATIVA DEL NOROESTE DE ESPAÑA

## Resumen

La concentración de actividades humanas genera deposición de polvo, suciedad, arenas, materia orgánica, nutrientes, metales pesados, tóxicos y contaminación bacteriológica sobre las superficies de las cuencas. La escorrentía, generada a partir de los sucesos de lluvia, disuelve y arrastra estos materiales vertiéndolos, en última instancia, en el medio receptor.

En esta comunicación se presentan algunos de los resultados obtenidos en la caracterización de los flujos (caudal y contaminación) en tiempo de lluvia en una red de drenaje de pluviales. Se realiza una completa caracterización a partir del análisis de hidrogramas y de los polutogramas asociados.

Los valores obtenidos son comparados con algunas referencias bibliográficas con el fin de acotar su importancia. Los resultados obtenidos caracterizan los flujos medidos como de contaminación media-baja, para este tipo de aguas.

**Palabras claves:** escorrentía urbana, contaminación, CMS, polutogramas, TEDUS.

## Introducción

Una visión integrada de la planificación y gestión de los sistemas de saneamiento y drenaje que realmente busque minimizar los impactos sobre el medio acuático receptor implica considerar tanto los flujos de tiempo seco como los flujos en tiempo de lluvia. Cuando se estudia la problemática de las aguas pluviales en los sistemas de saneamiento y drenaje es preciso diferenciar tres tipos de fenómenos de contaminación asociados:

- El primero es el generado por las aguas de escorrentía contaminada que llega de forma directa, o a través de redes de alcantarillado separativas, redes de drenaje urbano, a las masas de agua receptoras. La escorrentía superficial lava las superficies de los tejados y de las calles y se carga de forma significativa, en algunas ocasiones, de algunos contaminantes.
- El segundo tipo de fenómeno de contaminación es el generado por las Reboses del Alcantarillado Unitario (RAU) (DSU, Descargas de Sistemas Unitarios en tiempo de lluvia, CSO, “Combined Sewer Overflow” 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 de tiempo seco.
- El tercer problema de contaminación asociado a las aguas pluviales es el generado en las depuradoras. Por un lado la punta de caudal que asume la red acaba llegando a la depuradora y si supera su capacidad de tratamiento también se produce un vertido en tal punto. Por otro lado, el proceso de depuración puede quedar fuertemente alterado, provocando una bajada de rendimientos, que puede llegar a durar semanas, y que acaba afectando finalmente a la calidad de las aguas en el medio receptor; esta perturbación es debida tanto a las sobrecargas de caudal como a la variación de concentraciones, que oscilan desde valores muy elevados a valores bajos por dilución.

El interés en estudiar la contaminación de la escorrentía superficial de las cuencas urbanas tiene dos objetivos fundamentales: por un lado conocer la contaminación que se envía al medio receptor, que puede llegar a ser significativa en determinados tipos de contaminantes, y que puede ser necesario tratar, y, por otro, el interés en considerar al agua de lluvia como un recurso alternativo en las aglomeraciones urbanas; conocer la calidad del agua puede orientar a los posibles usos a los que se puede destinar.

La concentración de actividades humanas genera deposición de polvo, suciedad, arenas, materia orgánica, nutrientes, metales pesados, tóxicos y contaminación bacteriológica sobre las superficies de las cuencas. La escorrentía, generada a partir de los sucesos de lluvia, disuelve y arrastra estos materiales vertiéndolos, en última instancia, en el medio receptor. 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. En 1972, el estudio de la EPA (la Agencia de Protección Ambiental de los EE. UU.) “*Water Pollution Aspects of Street Contaminants*”, de Sartor y Boyd (1972), se convirtió en el marco de referencia de las investigaciones relacionadas con la contaminación de las aguas de escorrentía urbana.

El estudio que se presenta a continuación es 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” SOSTAQUA, 2010). En este proyecto se estudió la contaminación de la escorrentía en diferentes ámbitos y cuencas urbanas; una de dichas cuencas fue la denominada “Los Rosales”, situada en la ciudad de A Coruña (Galicia, España). Galicia está situada al noroeste de la Península Ibérica y goza de un clima oceánico, con inviernos y veranos suaves; la pluviometría media anual de la ciudad de A Coruña es del orden de 1000 mm. La cuenca estudiada tiene una superficie aproximada de 32 ha., de las cuales aproximadamente la mitad se corresponden con zonas permeables, por lo que puede considerarse una cuenca de grado de urbanización “medio”. Lo población residente en la cuenca es del orden de 15000 habitantes La pendiente media de la cuenca es alta (12%). Actualmente todo el agua recogida por la red de drenaje es vertida directamente en la costa.

## **Objetivos**

El estudio que se presenta ha tenido como objetivos fundamentales los siguientes:

- Caracterizar los flujos (tanto caudal como contaminación) de tiempo de lluvia en una red de alcantarillado de aguas pluviales.
- Conocer la evolución de la contaminación a lo largo del hidrograma generado por un suceso de lluvia.
- Desarrollar una metodología que permitiese parametrizar los fenómenos medidos de forma que los resultados obtenidos pudiesen ser comparables con los de otras cuencas.
- Comparar los valores de parámetros de contaminación obtenidos con los de otras cuencas y valorar su importancia.

## **Metodología**

La cuenca seleccionada para realizar el estudio, como ya se ha citado, fue la de “Los Rosales”, de la ciudad de A Coruña. Se seleccionó el emplazamiento de la sección de control en un punto de la red de drenaje aguas abajo de la cuenca, en concreto, en un colector de diámetro 1200 mm. Se registraron medidas de caudales, mediante la instrumentación de un caudalímetro “Hach Sigma 950” de tipo área-velocidad, cada cinco minutos. Para la recogida de muestras durante los sucesos se instaló un tomamuestras automático Sigma 900 conectado al caudalímetro, para recibir de éste la señal de alarma de arranque por aumento de nivel de agua en el colector. Durante un suceso de lluvia se tomaban muestras en intervalos cortos de tiempo; en general cada cinco minutos las primeras muestras y cada 10 ó 15 minutos las que se tomaban en el tramos final del hidrograma; de esta forma, para cada hidrograma medido es posible construir un “polutograma”. En el seno de la cuenca se instaló un pluviómetro para el conocimiento de los hietogramas de los aguaceros. Los datos de caudales eran enviados a un servidor “online” mediante un módulo de comunicación de datos por GPRS. Se estudiaron 8 eventos, o sucesos, de lluvia.



**Figura 1: Vista de la cuenca urbana de Los Rosales y situación de la sección de control.**

Los parámetros de contaminación medidos en las campañas han sido: DQO, DQO soluble, DBO<sub>5</sub>, carbono orgánico total (COT), nitrógeno total y amoniacal, nitratos, 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 dureza y Coliformes fecales. Se midieron también los siguientes metales pesados en sus formas disueltas y particuladas: Aluminio, Bario, Cadmio, Cromo, Cobalto, Cobre, hierro, Mercurio, Manganeso, Níquel, Plomo, Zinc. Además, a cada muestra recogida se la realizó un análisis granulométrico mediante Coulter Laser.



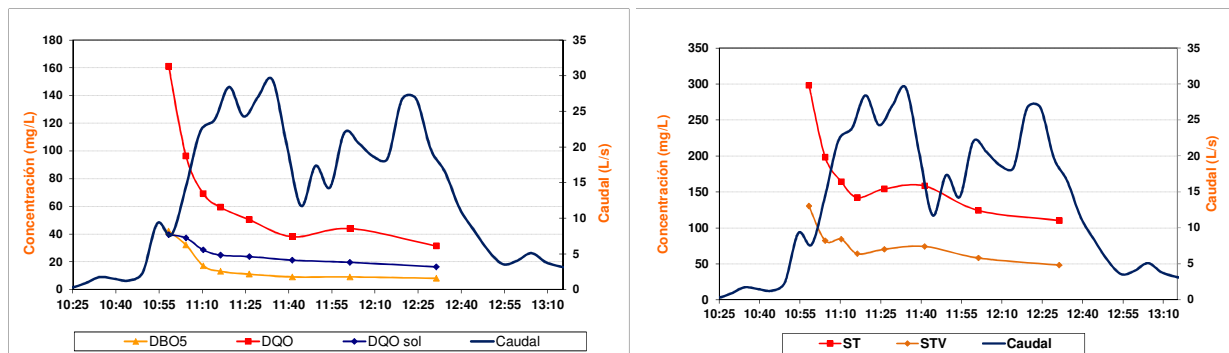
**Figura 2: Imagen de una zona de la cuenca drenada y de la estación de control.**

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

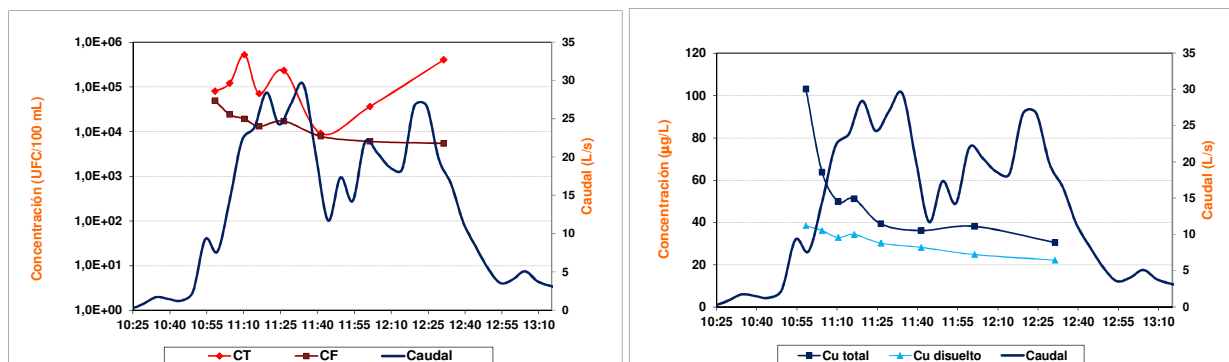
- Trabajo de laboratorio: determinaciones analíticas de los parámetros de contaminación considerados en las muestras obtenidas a lo largo de los hidrogramas de los sucesos de lluvia muestreados.
- Trabajo de gabinete: Elaboración de los hidrogramas y polutogramas de cada contaminante en los sucesos de lluvia estudiados. Elaboración de la "Ficha de Suceso". Análisis de los resultados obtenidos para cada contaminante y parametrización de los sucesos de lluvia: concentración máxima de suceso, concentración media de suceso (CMS), flujo másico instantáneo máximo, masa movilizada, carga específica movilizada, coeficiente de forma. Análisis estadístico de los resultados.

## Resultados

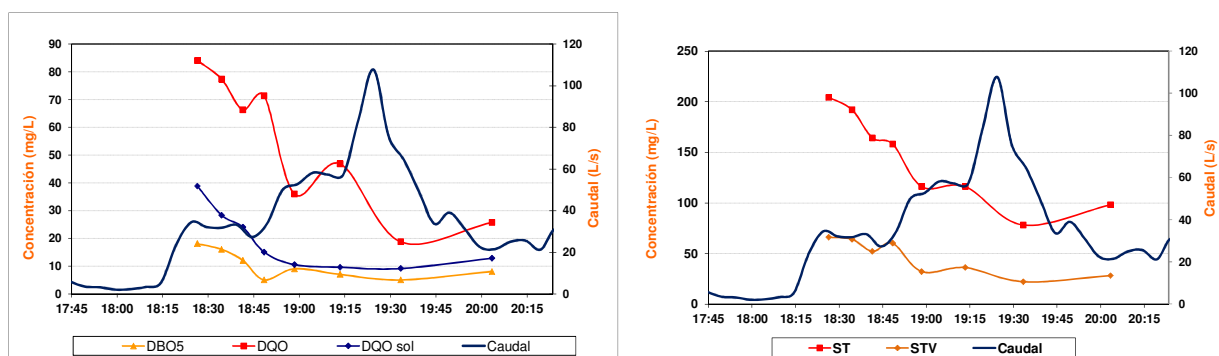
En la presente comunicación sólo se presentan y se valoran algunos de los resultados obtenidos en las caracterizaciones realizadas. En la figura siguiente se presentan varios ejemplos de los hidrogramas y sus polutogramas asociados medidos.



**Figura 3: Hidrogramas y polutogramas del Suceso 3 en la cuenca de “Los Rosales” (A Coruña). (Proyecto CÉNIT-SOSTAQUA).**



**Figura 4: Hidrogramas y polutogramas del Suceso 3 en la cuenca de “Los Rosales” (A Coruña). (Proyecto CÉNIT-SOSTAQUA).**



**Figura 5: Hidrogramas y polutogramas del Suceso 4 en la cuenca de “Los Rosales” (A Coruña). (Proyecto CÉNIT-SOSTAQUA).**

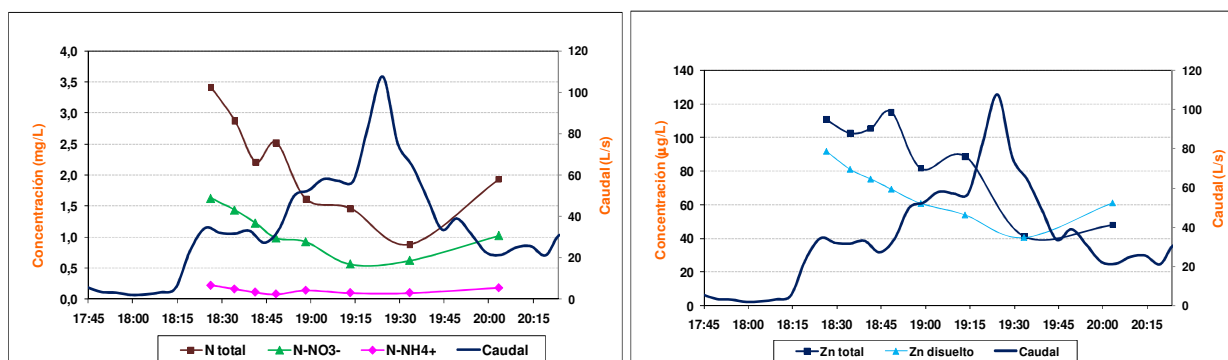


Figura 6: Hidrogramas y polutogramas del Suceso 4 en la cuenca de “Los Rosales” (A Coruña). (Proyecto CÉNIT-SOSTAQUA).

TABLA 1: Concentraciones máximas y medias de suceso (CMS) de algunos de los parámetros de contaminación medidos en la cuenca separativa de “Los Rosales”.

	SUCESOS	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º
Lluvia- Caudal	Duración del tiempo seco precedente (días)	3	2,43	6,03	0,042	14,46	0,04	9,03	7,86
	Precipitación total (mm)	6	4	2	4,8	3,8	3,4	3,6	5
	Intensidad 5minutal máxima (mm/h)	7.2	14.4	4.8	4.8	14.4	4.8	12	7.2
	Caudal mínimo (L/s)	43.2	7.7	7.7	21.5	3.8	2.1	12.1	3.5
	Caudal máximo (L/s)	184.1	113.1	29.4	107.7	85.0	49.7	235.5	136.8
	Caudal medio (L/s)	115.8	54.5	20.0	47.4	30.2	21.4	40.8	57.8
	Volumen total del suceso (m <sup>3</sup> )	362.6	384.7	117.4	274.2	61.6	111.2	244.1	413.6
CONCENTRACIONES MÁXIMAS DE SUCESO (mg/L)	DQO	106	65	161	84	78	42	100	141
	DQO soluble	24	18	39	39	29	25	39	41
	DBO5	58	13	42	18	23	15	25	40
	N total	4.1	4.0	5.7	3.4	8.9	8.2	4.4	4.1
	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2.2	2.9	2.1	1.6	2.1	5.1	2.7	1.2
	P total	0.4	0.4	0.7	0.3	0.8	0.3	0.5	0.4
	SS	101	143	114	65	131	36	163	139
	Turbidez (UFT)	39.0	33.3	42.1	22.4	78.0	22.4	44.4	48.0
	CF (ufc/100 mL)	1.4E+04	8.0E+03	4.9E+04	1.5E+05	1.9E+05	4.0E+04	4.4E+05	8.0E+04
CONCENTRACIONES MEDIAS DE SUCESO (mg/L)	DQO	40	30	50	40	69	29	52	30
	DQO soluble	10	6	22	13	17	19	22	3
	DBO5	15	5	12	8	21	11	12	10
	COT	4.3	5.0	7.0	3.3	--	6.9	6.1	6.8
	N total	2.0	1.8	2.4	1.6	4.5	1.8	2.0	1.8
	N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.9	0.8	1.3	0.8	1.1	0.9	0.7	0.6
	P total	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	0.2	0.3	0.2
	Turbidez (UFT)	21.8	20.6	9.3	13.2	26.4	15.3	22.8	20.8
	CF (ufc/100 mL)	3.9E+03	9.3E+02	1.1E+04	4.3E+04	1.1E+05	1.9E+04	4.8E+04	3.0E+04

A los valores presentados en la tabla anterior se les puede ajustar una función de probabilidad y se puede realizar una representación gráfica. La bibliografía aconseja ajustar funciones de tipo log-normal a los valores de contaminación de la escorrentía superficial. En las figuras siguientes se presentan los valores obtenidos para diferentes contaminantes en la cuenca de “Los Rosales” y se comparan con otra cuenca separativa, la de “Fontiñas”, en Santiago de Compostela (Galicia) (Suárez, 2002) de similares características.

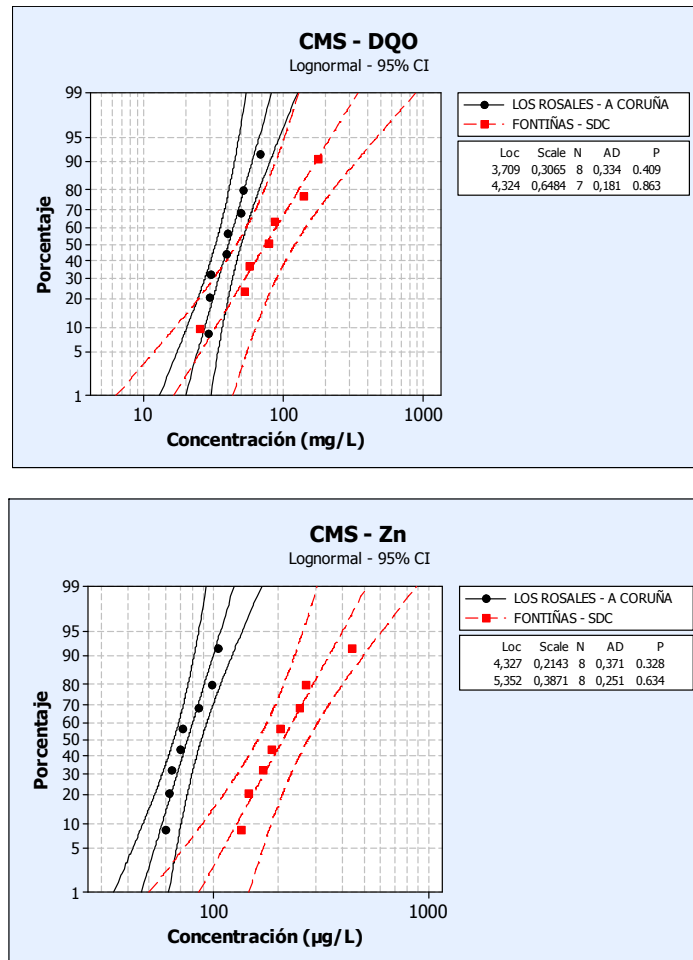


Figura 7: Ajuste de función de probabilidad e intervalos de confianza del 95% de los valores de DQO y Zn en dos cuencas separativas de Galicia.

TABLA 2: Valores de CMS de contaminación de la escorrentía urbana y comparación con los valores medios de CMS obtenidos en “Los Rosales”(entre paréntesis figuran los valores medios)

PARÁMETROS DE CONTAMINACIÓN	CMS (mg/L) (ELLIS, 1986)	CMS (mg/L) (US-EPA, 1999)	STOCKOLM VATTEN (2001)		“LOS ROSALES”
			Bajas	Altas	
Sólidos en suspensión (mg/L)	21 -2582 (190)	20 – 2890 (150)	<50	>175	<b>43.8</b>
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	7 – 22 (11)				<b>11.6</b>
DQO (mg/L)	20 – 365 (85)	200 – 275 (75)	25 - 60		<b>42.6</b>
Nitrógeno amoniacal (mg/L)	0.2 -4.6 (1.45)				<b>0.2</b>
N total (mg/L)	0.4 -20.0 (3.2)	0.4 - 20.0 (2)	<1.25	>5	<b>2.2</b>
P total (mg/L)	0.02 – 4.30 (0.34)	0.02 - 4.30 (0.36)	<0.1	>0.2	<b>0.3</b>
Pb total (mg/L)	0.01- 3.1 (0.21)	0.01 - 1.2 (0.18)	<0.003	>0.015	<b>0.007</b>
Zn total (mg/L)	0.01 – 3.68 (0.30)	0.01 - 2.9 (0.2)	<0.060	>0.300	<b>0.077</b>
Cu total (mg/L)		0.01 - 0.40 (0.05)	<0.009	>0.045	<b>0.035</b>
CF (NMP/100 mL)	400 – 50000 (6430)	400 – 50000			<b>33700</b>



## Conclusiones

Las aguas de escorrentía urbana no pueden considerarse “aguas blancas”; de los resultados obtenidos puede apreciarse que los valores de algunos parámetros físico-químicos e indicadores microbiológicos, sobre todo en la primera parte de los hidrogramas de los eventos pluviométricos, pueden ocasionar el incumplimiento de los objetivos de calidad fijados en el medio receptor.

La escorrentía superficial de la subcuenca de “Los Rosales” presenta un nivel de contaminación que podría calificarse como bajo en sólidos en suspensión, DQO y DBO<sub>5</sub>, medio en nitrógeno total y fósforo total, en cuanto a contaminantes convencionales. En cuanto a metales pesados presenta valores bajos de Pb y Zn, pero medio o alto en Cu.

Se trata de un agua muy poco contaminada si se compara con un agua residual bruta, incluso con un buen efluente de depuradora, pero habría que caracterizarla como de contaminación media-baja para este tipo de aguas. La problemática de estas aguas reside en la contaminación de tipo crónico y con impactos de medio y largo plazo: nutrientes y metales pesados. Si bien estas concentraciones son relativamente bajas las masas de contaminantes (kg/año, por ejemplo) que se envían al medio sí serían significativas.

En función de la tipología y usos de la cuenca drenada y del medio natural receptor sería conveniente estudiar la utilización de las denominadas Técnicas de Drenaje Urbano Sostenible (TEDUS) (CEDEX, 2008), “Best Management Practices” (BMP) y “Sustainable Urban Drainage Systems” (SUDS) en la bibliografía anglosajona, que permiten reducir la llegada de dichos contaminantes al medio receptor. Los beneficios obtenidos al emplear TEDUS pueden ser de dos tipos: el control de la cantidad de agua (minimización de los impactos hidromorfológicos) y el control de la contaminación. Mediante el estudio realizado es posible orientar la técnica más adecuada de gestión, incluyendo aquellas que permitirían la valorización y uso planificado de las aguas pluviales en el entorno urbano.

## 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.
- Suárez, J.; Puertas, J.; Cagiao, J.; Díaz-Fierros, F; Beneyto, M. (2002). “A QUANTITATIVE ANALYSIS OF THE SURFACE REMOVAL OF POLLUTANTS IN A SEPARATIVE URBAN CATCHMENT”. 6th International Conference on Diffuse Pollution. The International Water Association (IWA) and the Netherlands Association on Water Management (NVA). Ámsterdam (Holanda).
- Ellis, J.B. (1986) Pollutational aspects of urban runoff, in Urban Runoff Pollution (eds H.C. Torno, J. Marsalek and M. Desbordes), NATO ASI Series G: Ecological Sciences – Vol. 10, Springer-Verlag, 1–38.
- Sartor, J. D.; Boyd, G. B. (1972). “Office of research and monitoring, U.S. Environmental Protection Agency. Water pollution aspects of street surface contaminants”. NTIS. Washington D. C. Págs 236. ISBN: EPA-R2-72-081.
- EPA-821-R-99-012; (1999); “Preliminary data summary of urban storm water best management practices”; Office of Water; US-EPA.