

DIMENSIONADO DE DEPÓSITOS DE RETENCIÓN DE CONTAMINACIÓN MEDIANTE CARACTERIZACIÓN DE LAS DESCARGAS DE SISTEMAS UNITARIOS EN LA CIUDAD DE MURCIA.

Pedro Daniel Martínez¹, Técnico de operaciones red saneamiento pdmartinez@emuasa.es

Simón Nevado¹, Director de operaciones, snevado@emuasa.es

Eva Mena¹, Responsable de I+D+i, emena@emuasa.es

Pablo Espín¹, Técnico de proyectos, pespin@emuasa.es

Juan T. García², Investigador del Grupo de I+D+i Hidr@m, juan.gbermejo@upct.es.

1. Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Murcia S.A, Plaza Circular 9, 30008 Murcia
2. Grupo Hidro@m, Departamento de Ingeniería Civil. Universidad Politécnica de Cartagena, Paseo Alfonso XIII, 52, Cartagena, España:

Palabras clave: Descarga de Sistemas Unitarios (DSUs), redes de saneamiento, índices de predicción de contaminación, polutogramas.

RESUMEN

La mayoría de los sistemas de saneamiento existentes en España y Europa son unitarios. En este tipo de redes circulan, por una misma conducción, las aguas residuales generadas por la actividad humana comercial e industrial de las ciudades en tiempo seco, junto con las aguas generadas por la escorrentía en periodos de lluvia. Las redes unitarias, en el caso de episodios de lluvias torrenciales, no serán capaces de transportar la totalidad de los caudales recogidos, provocando desbordamientos denominados Descargas del Sistema Unitario (DSU).

El Real Decreto 1290/2012 establece normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas, incluyendo las DSU durante episodios de lluvia. El RD 1290/2012 reconoce que en la práctica no es posible construir los sistemas colectores y las instalaciones de tratamiento de manera que se pueda tratar todas las aguas residuales generadas durante periodos de lluvias torrenciales inusuales. Dentro de este contexto, el conocimiento de las curvas de variación de concentración para un determinado contaminante (polutogramas) son fundamentales para la aplicación de las medidas recogidas en el Real Decreto 1290/2012.

La Empresa Municipal de Aguas y Saneamiento de Murcia S.A. (Emuasa) lidera un proyecto desarrollado por la Universidad Politécnica de Cartagena (UPCT), que estudia los flujos de contaminación movilizados durante el tiempo de lluvia en un sistema de saneamiento y drenaje unitario de dos cuencas urbanas en la ciudad de Murcia.

Para ampliar el conocimiento de la movilización de contaminación en ambas cuencas se realiza el cálculo de los hidrogramas, polutogramas e hietogramas de un conjunto de episodios. Obtenidos los datos que permiten caracterizar el evento en cuanto a sus propiedades hidráulicas, hidrológicas y contaminantes, se puede proceder al estudio de las relaciones entre sus distintos parámetros característicos como pueden ser: la precipitación total, el periodo seco precedente, etc., con el objetivo de establecer herramientas de predicción que permitan mejorar las labores de gestión y operación de la red durante los sucesos tormentosos.

INTRODUCCIÓN

La mayor parte de los sistemas de saneamiento existentes en España y Europa son del tipo unitario. En este tipo de redes circulan, por una misma conducción, las aguas residuales generadas por la actividad humana comercial e industrial de las ciudades en tiempo seco, junto con las aguas generadas por la escorrentía en periodos de lluvia. Las redes unitarias, en el caso de episodios de lluvias torrenciales, no son capaces de transportar la totalidad de los caudales recogidos, provocando desbordamientos denominados Descargas del Sistema Unitario (DSUs).

Durante un episodio de lluvia, el efecto de lavado que las aguas de escorrentía tienen sobre la superficie de la cuenca supone un importante arrastre de contaminantes acumulados en los días previos al evento, lo que provoca un importante transporte de toda esta carga hacia la red de drenaje y saneamiento. Este fenómeno, junto con la resuspensión del material sedimentado en la red debido al incremento de velocidad en el interior de las conducciones, hace que el impacto medioambiental que las DSUs tienen sobre el medio receptor sea considerable.

El Real Decreto 1290/2012 establece normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas, incluyendo las DSUs durante episodios de lluvia. Dicho Real Decreto reconoce que en la práctica no es posible construir sistemas colectores e instalaciones de tratamiento capaces de tratar la totalidad de las aguas residuales generadas durante periodos de lluvias torrenciales inusuales, por lo que se hace necesario avanzar hacia la construcción de infraestructuras (dispositivos anti-DSU) que mejoren la calidad de los vertidos que se produzcan al medio receptor en tiempo de lluvia.

A pesar de que existen experiencias en diversos países en cuanto al dimensionamiento de este tipo de dispositivos (ATV A-128, *British Standard Sewage* BS8005, etc), es conveniente proceder hacia la normalización en el diseño, teniendo en cuenta las características pluviométricas de la zona, la orografía de la cuenca, las características de la red de drenaje y las propiedades medioambientales del medio receptor.

Dentro de este contexto, el conocimiento de las curvas de variación de concentración para un determinado contaminante a lo largo de un episodio de lluvia (polutogramas) es fundamental para la aplicación de las medidas recogidas en esta legislación. La monitorización de los contaminantes apoyada únicamente en la toma de muestras puntuales ha demostrado ser técnica y económicamente inviable en estudios de grandes zonas. Es por ello que resulta imprescindible recurrir a herramientas que permitan determinar indirectamente la calidad del agua de manera continua y en tiempo real.

Diversas investigaciones han puesto de manifiesto el potencial que muestra el empleo de la turbidez como indicador indirecto de la evolución que la contaminación presente en el agua (Anta et al., 2009; Hannouche et al., 2011; Del Río, 2011; Métadier y Bertrand-Krajewski, 2012; Bersinger et al., 2013). De esta manera, se puede proceder a monitorizar la evolución de las concentraciones de ciertos indicadores de contaminación, como los sólidos en suspensión (SS) o la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), por medio de funciones de correlación lineales.

Sin embargo, en la mayoría de los casos no existen series temporales de medición en continuo de turbidez que permitan evaluar la idoneidad de una u otra estrategia de retención de contaminación ante la serie histórica de precipitación y vertido. Además, el coste de inversión y mantenimiento de los sistemas de monitorización expuestos puede llegar a convertirse en un factor limitante en el análisis cualitativo de la contaminación movilizada en un suceso de lluvia.

Por ello, el estudio estadístico de las relaciones entre la concentración de contaminación en el agua residual y la escorrentía constituyen un marco de referencia para investigar los impactos asociados a las DSUs. Siguiendo esta línea, varias investigaciones (Gupta y Saul, 1996; LeBoutillier et al., 2000; Gromaire et al., 2001; Del Río, 2011) han realizado un análisis de la regresión estadística entre parámetros relacionados con los sólidos en suspensión y las variables hidrológicas e hidráulicas de los eventos lluviosos.

A falta de las normas técnicas que especifiquen la metodología de dimensionado de los sistemas de retención para la reducción efectiva de la contaminación vertida al medio receptor, en el presente documento se propone una metodología basada en la retención de la masa de contaminación movilizada. Para ello se aplica el ajuste del modelo estadístico presentado en la investigación de García et al. (2017), cuya finalidad principal es predecir la concentración máxima de turbidez (C_{MAXtb}), el tiempo al pico del

polutograma (TPP), y el tiempo de descenso del polutograma (TDP) para un evento lluvioso.

Se ha empleado dicho modelo estadístico para analizar los episodios de lluvia acaecidos en el denominado *año medio* de la cuenca, obtenido a partir de la serie histórica de precipitaciones (2001-2018) y siguiendo para su definición los criterios establecidos en las Instrucciones Técnicas para Obras Hidráulicas de Galicia (ITOHG).

La metodología desarrollada en el presente trabajo puede ser resumida en los siguientes puntos:

- Definición de la serie hidrológica a analizar (*año medio*).
- Obtención del hidrograma en el punto de control para el *año medio* mediante el modelo matemático de la red.
- Obtención del polutograma (turbidez, NTU) en el punto de control para el *año medio* empleando la formulación desarrollada en el estudio de García et al. (2017).
- Obtención del polutograma (DBO₅) en el punto de control para el *año medio* utilizando la correlación turbidez-DBO₅.
- Planteamiento del objetivo de emisión en el punto de control (kg.DBO₅ retenidos).
- Cálculo del volumen de retención necesario.

MATERIAL Y MÉTODOS

Descripción de la cuenca de estudio

Continuando con la investigación realizada por García et al. (2017), el presente trabajo se centra en la cuenca urbana San Félix de la ciudad de Murcia. Esta cuenca es mayormente residencial y realiza el drenaje mediante sistemas de alcantarillado unitario, presentado un porcentaje de impermeabilidad del 47%. Las principales características de la cuenca de estudio se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de la cuenca de estudio.

Cuenca	San Félix
Área de la Cuenca (km ²), A	14,89
Densidad de población (hab/km ²)	14,50
Ratio de impermeabilidad (m ² /m ²)	0,47
Pendiente media (m/m), S	0,0043
Longitud del cauce principal (km), L	10,75
Longitud de la red de saneamiento (km)	513,15
Tiempo de concentración (min), T _c	87,14

Modelo hidráulico de la red

El Storm Water Management Model (SWMM) de la Agencia de Protección del Medioambiente de los Estados Unidos (US-EPA) es un modelo numérico de simulación de precipitaciones que permite simular el comportamiento hidrológico-hidráulico de un sistema de saneamiento, tanto en términos de cantidad de agua como de calidad de la misma.

Para este estudio se ha empleado un modelo calibrado y simplificado de la red de saneamiento de Murcia bajo este software. En la Figura 1 y en la Tabla 2 se muestran una imagen de dicho modelo y sus principales características, respectivamente.

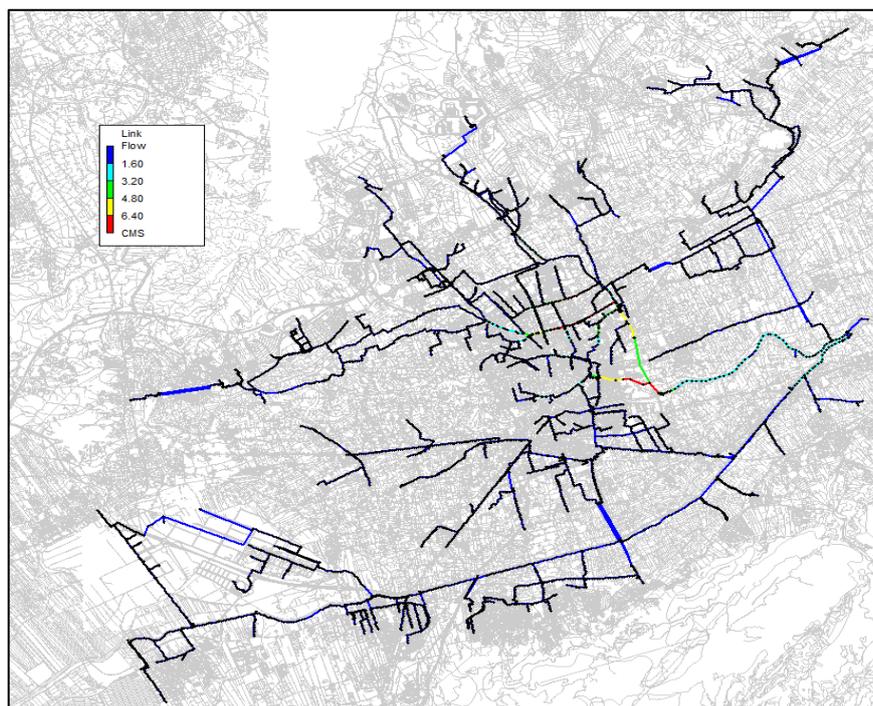


Figura 1. Vista del modelo hidráulico empleado bajo el software SWMM.

Tabla 2. Descripción del modelo hidráulico de la ciudad de Murcia.

Información	Elemento	Número
Hidrológica	Pluviómetros	39
	Cuencas	4.553
Hidráulica	Nudos	6.073
	Nudos de vertido	58
	Almacenamientos	70
	Conductos	6.304
	Bombeos	100

Índices de predicción de contaminación empleados

En este apartado se presentan los índices multivariable que configuran el modelo estadístico desarrollado por García et al. (2017). Mediante este conjunto de índices se puede obtener, en función de variables hidrológico-hidráulicas, los parámetros fundamentales que permiten la construcción de los denominados polutogramas de diseño. Dichos parámetros son el tiempo al pico del polutograma (TPP) y la concentración máxima de turbidez en el agua residual (C_{MAX_{TB}}).

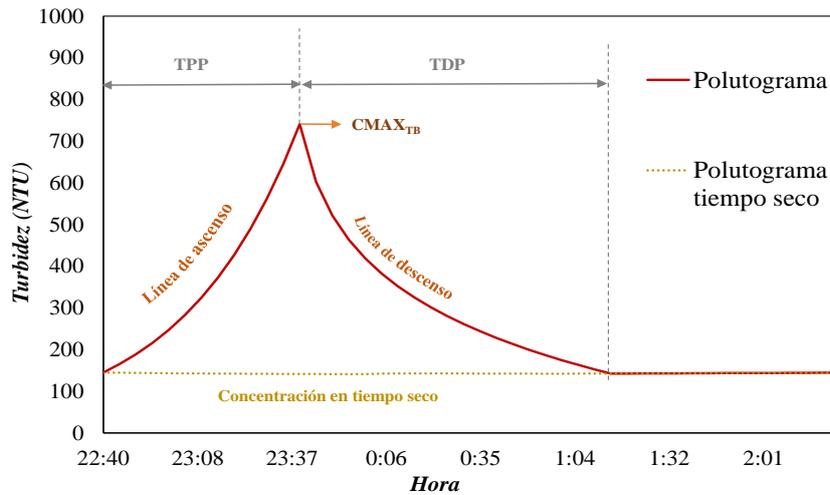


Figura 2. Principales parámetros de un polutograma de diseño (Fuente: García et al, 2017).

En la Tabla 3 se resume la formulación y las variables empleadas en cada una de las fórmulas que componen este modelo estadístico.

Tabla 3. Formulación para la construcción de polutogramas de diseño (García et al, 2017).

Índice de Tiempo al Pico Polutograma (I_{TPP})	$I_{TPP} = \left(\frac{TPH}{T_c}\right)^{0.13} \left(\frac{P_{TOTAL}}{P_{TOTAL-ANUAL}}\right)^{0.02}$ <p>Donde TPH es el tiempo al pico hidráulico, T_c el tiempo de concentración de la cuenca, P_{TOTAL} la precipitación del suceso y $P_{TOTAL-ANUAL}$ es la precipitación anual media en la zona de estudio (350 mm para esta región).</p>
Relación I_{TPP} -TPP	$TPP = 427.71 I_{TPP} - 281.34$
Tiempo de descenso del polutograma (TDP)	$TDP = 4.24 TPP - 40$
Índice de concentración máxima (I_{CMAXTB})	$I_{CMAXTB} = \left(\frac{P_{TOTAL}}{P_{TOTAL-ANUAL}} S\right)^{0.3} (TSP_R)^{0.3} F_{FORMA}$ <p>Donde S es la pendiente media de la cuenca, TSP_R es la relación de días secos consecutivos anteriores al evento lluvioso en el último mes y F_{FORMA} es el factor de forma de la cuenca.</p>
Relación I_{CMAXTB} - $CMAX_{TB}$	$CMAX_{TB} = 5343.2 I_{CMAXTB} + 356.85$
Factor de forma	$F_{FORMA} = \frac{10A}{L^2}$ <p>donde A es el área de la cuenca en km^2 y L es la longitud del cauce principal de km.</p>

El procedimiento para el cálculo del polutograma de diseño asociado a un determinado episodio de lluvia viene reflejado en la Figura 3:

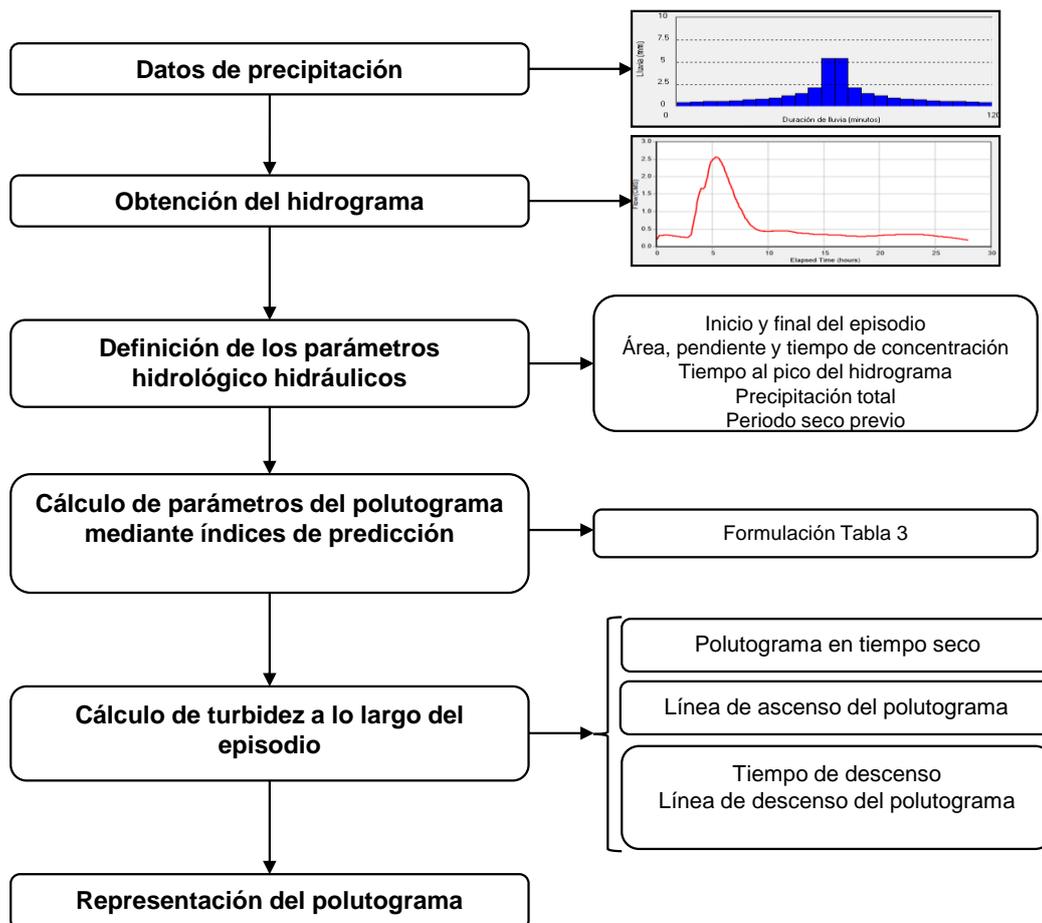


Figura 3. Metodología para la elaboración de polutogramas de diseño (Fuente: García et al, 2017).

Datos pluviométricos disponibles

Para el dimensionado del depósito de retención necesario en la cuenca San Félix, se va a aplicar como criterio de selección de la serie de lluvias a modelizar el empleado en las ITOHG. Volumen 2. SAN-1/5-Cálculo de Depósitos en Sistemas Unitarios: (i) La precipitación total del año escogido estará comprendida entre el 90% y el 110% de precipitación media anual de una serie de como mínimo 10 años consecutivos, (ii) El número de días de lluvia del año escogido estará comprendido entre el 90% y el 110% de la media de días de lluvia de una serie de como mínimo 10 años.

Se disponen de los datos de precipitación diaria en la estación que la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) tiene en Guadalupe (Murcia), en el periodo 2000 a 2017, obteniéndose, según los criterios anteriores, 2 potenciales años medios, 2008 y 2012.

Tabla 4. Valores promedio para la serie histórica de datos pluviométricos 2.000-2.017.

AÑO	DÍAS DE LLUVIA	CANTIDAD ANUAL DE LLUVIA (mm.)
2000	17	244
2001	31	331
2002	22	237
2003	30	295
2004	29	348
2005	27	199
2006	25	242
2007	30	397
2008	22	261
2009	29	403
2010	41	458
2011	22	221
2012	22	272
2013	20	223
2014	16	137
2015	20	259
2016	22	362
2017	11	185
PROMEDIO	24	282
90% PROMEDIO	22	254
110% PROMEDIO	27	310

Para los cálculos realizados en el presente trabajo se ha seleccionado como año medio el año 2008.

Correlación Turbidez-DBO₅

La turbidez es una medida de la claridad relativa de un líquido. Es una característica óptica que expresa la cantidad de luz que es dispersada por el material presente en el líquido cuando esta se hace pasar a través del mismo. Por lo tanto, cuanto mayor sea la intensidad de luz dispersada, mayor será la turbidez.

Son numerosos los estudios que ponen de manifiesto la posibilidad de emplear mediciones en continuo de este parámetro para monitorizar la evolución de los flujos de contaminantes a través de funciones de correlación directas. Por tanto, valores en continuo de turbidez pueden ser empleados para diversos propósitos, como la estimación de las cargas de contaminantes por requisitos legislativos, la operación, planificación y rehabilitación de los sistemas de alcantarillado o la modelización en tiempo real del sistema.

En el presente trabajo se han empleado las formulaciones extraídas del estudio de Del Río (2011) realizado en una cuenca urbana con alcantarillado unitario de la ciudad de Santiago de Compostela. En dicho estudio se presentan diversas expresiones que relacionan los parámetros de contaminación tanto en tiempo seco como en los episodios de lluvia.

Dado el objetivo del presente estudio, se ha seleccionado la DBO₅ como el parámetro representativo del fenómeno de lavado, ya que presenta una correlación elevada con la turbidez según los datos de la cuenca Ensanche de Santiago de Compostela (Del Río, 2011). La ecuación empleada es la siguiente:

$$DBO_5(\text{mg/L}) = 1,8217 \cdot \text{TURBIDEZ (NTU)} + 122.49$$

RESULTADOS

Caracterización de los episodios de lluvia del año 2.008

A partir de los datos de intensidad de lluvia 10-minutal de la estación de AEMET en Guadalupe para el año medio 2008, se han caracterizado los sucesos de lluvia de dicho año, teniendo en cuenta que para la identificación y selección de los episodios de lluvia se ha considerado como tiempo sin precipitación entre sucesos, dos veces el tiempo de concentración de la cuenca, en este caso 180 minutos.

De esta forma, se han obtenido 57 episodios de lluvia a lo largo del año, que se han simulado en el modelo SWMM, obteniéndose los siguientes parámetros para el punto de control San Félix (Tabla 5, resultado para los primeros 10 episodios identificados):

Tabla 5. Ejemplo de caracterización de los sucesos de lluvia del año 2008.

SUCESO	INICIO SUCESO	FIN SUCESO	PRECIPITACIÓN SUCESO (mm.)	TIEMPO TOTAL (min.)	DÍAS PREVIOS TIEMPO SECO (días)	TP HIDROGRAMA (min)
1	02/01/2008 10:40	02/01/2008 17:20	4,3	400	20,00	204
2	03/01/2008 10:30	03/01/2008 13:30	0,4	180	0,72	80
4	14/01/2008 09:20	14/01/2008 13:20	0,3	240	10,40	107
6	15/02/2008 00:30	15/02/2008 04:30	0,6	240	2,25	99
7	17/02/2008 20:50	18/02/2008 04:10	1,2	440	2,68	296
9	19/02/2008 15:40	19/02/2008 23:40	2,1	480	1,24	244
10	20/02/2008 15:00	20/02/2008 18:30	1,7	210	0,64	68
11	23/02/2008 23:30	24/02/2008 20:00	12,7	1.230	3,21	970
12	28/02/2008 14:00	28/02/2008 19:50	3,8	350	3,75	126
13	22/03/2008 21:00	23/03/2008 00:20	0,4	200	23,05	95

Sobre la base de estos sucesos, se han calculado los Índices de Predicción de Contaminación (turbidez), con los siguientes resultados (Tabla 6, Idem):

Tabla 6. Ejemplo de caracterización de los sucesos de lluvia del año 2008.

SUCESO	Índice de tiempo al pico del polutograma (I _{TPP})	Índice de concentración máxima (I _{C_{MAXTB}})	Tiempo al pico del polutograma (TPP)	Concentración máxima (NTU)	Concentración inicial (NTU)	Concentración final (NTU)
1	1,18	0,31	224,21	1.987,59	102,10	167,98
2	0,85	0,06	82,72	651,29	101,37	122,51
4	0,92	0,11	113,63	959,73	102,22	120,61
6	0,91	0,09	109,91	825,81	142,42	135,60
7	1,29	0,11	269,69	965,34	156,33	133,39
9	1,23	0,11	244,51	928,39	157,97	141,17
10	0,83	0,08	75,58	796,19	146,62	167,77
11	1,93	0,24	543,39	1.660,19	141,47	159,07
12	1,02	0,18	155,09	1.307,85	128,71	164,96
13	0,90	0,16	101,98	1.191,39	154,96	142,41

A partir de los resultados obtenidos por suceso, se ha podido generar el polutograma para turbidez completo para el año 2.008 del punto de control objeto del presente estudio. En la Figura 4 se muestra el hidrograma y polutograma obtenido con esta metodología para el periodo 14/02/2008 a 20/02/2008:

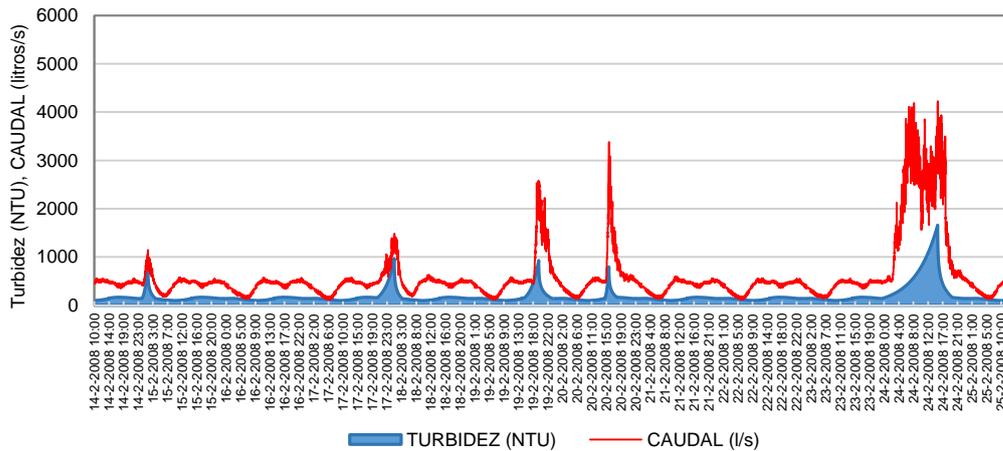


Figura 4. Generación de hidrograma y polutograma (turbidez).

Se puede apreciar la influencia que presenta el nº de días secos consecutivos previos al evento, que provoca concentraciones máximas elevadas incluso en sucesos de lluvia de menor caudal punta y volumen movilizado.

Una vez generada la serie temporal de la turbidez en el punto de control, tal y como se ha detallado en el punto anterior, se puede obtener en todo momento la cantidad de DBO₅ movilizada (en mg/l.), por lo que se puede proceder al cálculo de volumen de retención necesario para un *objetivo de emisión* propuesto.

Así, en el presente trabajo se ha propuesto como *objetivo de emisión* la retención del 85% de la cantidad de DBO₅ movilizada en el punto de control durante los sucesos de lluvia del *año medio*, y su posterior transporte a la Estación Depuradora de Agua Residual (EDAR). Se ha considerado como capacidad máxima del colector 1,5 veces el caudal medio residual, obteniendo para este punto un valor de caudal máximo de 0.60 m³/s. En los casos en los que este valor sea superado, se producirá un vertido al medio receptor. Con esta limitación se ha calculado tanto el volumen de agua como la cantidad de DBO₅ vertida (en kg.), a partir de la concentración de DBO₅ obtenida.

Para el mismo periodo del año mostrado en la Figura 4, se obtiene la siguiente evolución en la cantidad de DBO₅ movilizada, en kg:

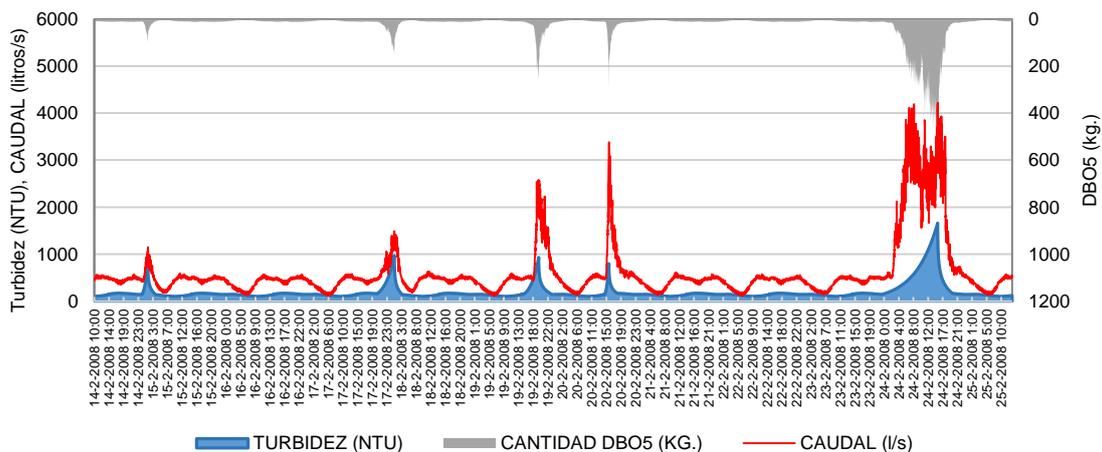


Figura 5. Generación de hidrograma, polutograma - turbidez y polutograma – DBO₅.

Al tener la serie temporal de DBO₅ movilizada para todo el año, se puede calcular el volumen de retención necesario para alcanzar el objetivo de emisión propuesto. Para ello,

en cada uno de los sucesos estudiados se ha obtenido el caudal de escorrentía que pasa por el punto de control *San Félix* y no puede ser conducido a la EDAR al superar el caudal máximo de 0,60 m³/s. A partir de dicho caudal, se puede calcular la cantidad de DBO₅ que no puede ser conducida hacia la EDAR, pudiendo evaluar las potenciales medidas de minimización de la misma.

Con los datos anteriores, el porcentaje de contaminación movilizada, medida en kg. de DBO₅ conducida a la EDAR en los diversos episodios de lluvia acaecidos en el *año medio* (2008) alcanza el 25%, muy lejos del 85% propuesto en el presente estudio como cifra tentativa.

En la Figura 6 se muestra el cálculo del caudal vertido para el suceso del día 24/02/2008, así como la cantidad de DBO₅, que no es conducida a la EDAR durante dicho suceso de lluvia:

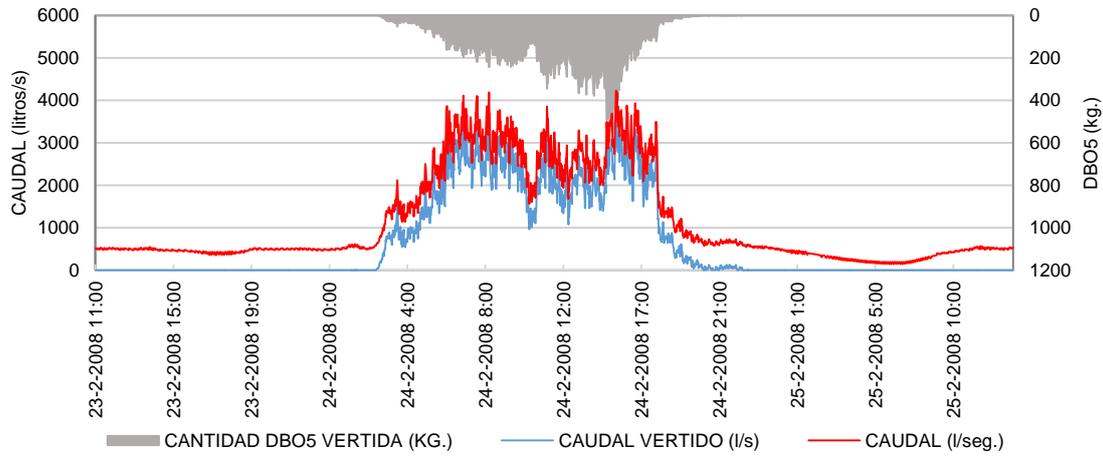


Figura 6. Ejemplo de cálculo de masa de contaminación vertida.

Con los datos anteriores, se ha obtenido un *volumen de retención* necesario para alcanzar el 85% de la cantidad de DBO₅ movilizada de **67.000 m³**.

En cada suceso de lluvia se ha calculado el volumen de agua de escorrentía que es conducido a dicho depósito de retención y el volumen de agua que es finalmente vertido al alcanzar la capacidad máxima de dicho depósito. Por ejemplo, para el suceso de lluvia del 24/02/2008, el perfil de caudales y de DBO₅ retenidos y finalmente vertidos quedaría tal y como se muestra en la Figura 7:

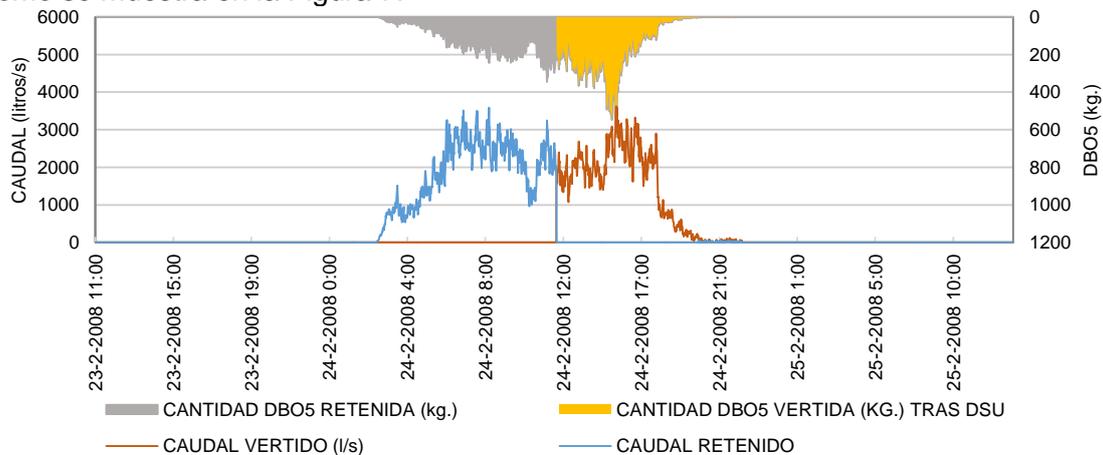


Figura 7. Ejemplo de cálculo de masa de contaminación vertida – Impacto del depósito de retención.

En la mayoría de los sucesos de lluvia analizados, el volumen de retención propuesto será capaz de absorber todo el exceso de agua de escorrentía, no produciéndose vertido alguno al medio receptor. En la figura siguiente se muestra el comportamiento sobre caudal y DBO₅ en los sucesos del periodo 14/02/2008 a 20/02/2008, donde se aprecia el impacto de la retención sobre la emisión de contaminantes:

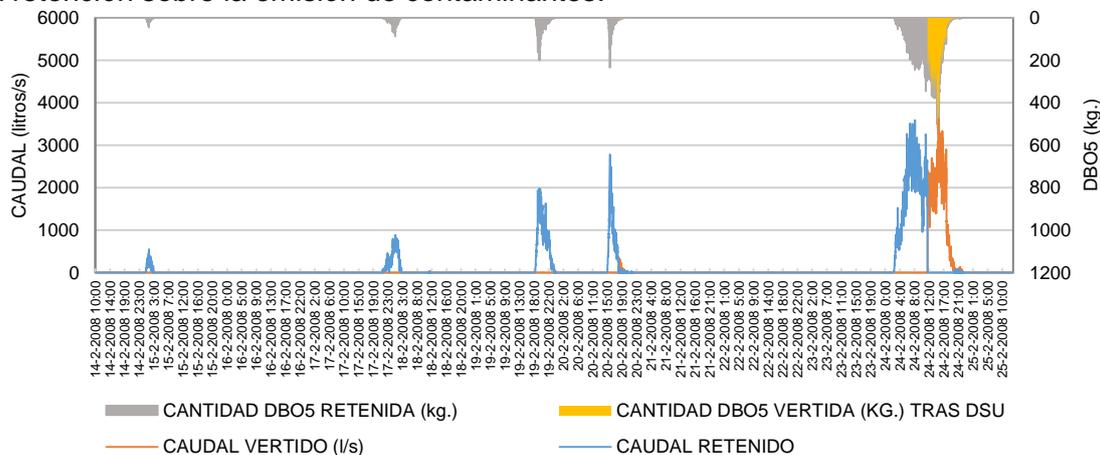


Figura 8. Ejemplo de cálculo de masa de contaminación vertida – Impacto del depósito de retención.

Así, los sucesos de lluvia de los días 17/02/2008, 19/02/2008, 20/02/2008 no provocan vertido al medio receptor.

El balance final obtenido con el depósito de retención de **67.000 m³** en el punto de control proporciona el objetivo de emisión propuesto, esto es, el 85% de la cantidad de contaminación generada por el agua de escorrentía es conducida a la EDAR.

Como comparación, se ha calculado el volumen de retención necesario según las *ITOHG. Volumen 2. SAN-1/5-Cálculo de Depósitos en Sistemas Unitarios*. En dichas instrucciones se establecen los siguientes objetivos de protección de calidad del medio receptor: (i) El número máximo de vertidos no superará el valor de entre 15 y 20 sucesos en el *año medio*, (ii) El porcentaje de agua vertida no superará el 10-15% del volumen total de lluvia neta.

En cuanto al primer objetivo, a continuación se presentan los volúmenes de los 20 sucesos con mayor generación de escorrentía:

Tabla 7. Características de los 20 sucesos de lluvia con mayor precipitación del año 2008.

SUCESO	INICIO SUCESO	FIN SUCESO	PRECIPITACIÓN SUCESO (mm.)	TIEMPO TOTAL (min.)	VOLUMEN TOTAL (m3)
20	08/05/2008 05:00	08/05/2008 20:00	31,8	900	227.789
62	01/11/2008 14:40	02/11/2008 01:20	19,4	640	123.986
58	22/10/2008 18:20	23/10/2008 04:10	18,8	590	120.235
11	23/02/2008 23:30	24/02/2008 20:00	12,7	1.230	114.800
27	18/05/2008 12:10	18/05/2008 23:30	16,2	680	97.112
54	09/10/2008 14:00	09/10/2008 20:40	12,0	400	94.625
53	09/10/2008 05:50	09/10/2008 12:50	11,7	420	85.798
37	10/06/2008 17:20	11/06/2008 02:20	7,5	540	67.617
50	25/09/2008 01:30	25/09/2008 16:50	7,5	920	63.267
34	08/06/2008 23:50	09/06/2008 08:10	7,5	500	59.142
68	26/11/2008 12:50	27/11/2008 05:40	6,7	1.010	58.136
31	30/05/2008 13:00	30/05/2008 16:40	13,3	220	54.590
40	16/07/2008 09:00	16/07/2008 15:20	6,2	380	52.006
48	24/09/2008 13:40	24/09/2008 17:00	10,6	200	49.985

38	14/07/2008 07:30	14/07/2008 15:40	4,8	490	41.672
12	28/02/2008 14:00	28/02/2008 19:50	3,8	350	34.062
74	08/12/2008 11:30	08/12/2008 15:30	3,7	240	30.732
23	10/05/2008 09:00	10/05/2008 17:40	3,0	520	24.676
1	02/01/2008 10:40	02/01/2008 17:20	4,3	400	21.005
25	11/05/2008 06:40	11/05/2008 11:40	2,4	300	17.844

Por tanto, el volumen mínimo deberá ser de **18.000 m³**.

Por lo que se refiere al segundo objetivo, de manera parecida a lo que se ha calculado para el cálculo del porcentaje de DBO₅ retenido, para alcanzar un 85% de volumen de agua de escorrentía en el *año medio* (2008), es necesario un volumen de retención en el punto de control de **70.000 m³**.

Por tanto, para el caso particular de la cuenca *San Félix*, se han obtenido valores similares de volumen de retención frente a objetivos de protección diferentes, dadas las características intrínsecas de la propia cuenca, que proporciona una movilización de contaminantes escalonada, no apareciendo de esta manera el fenómeno de *primer lavado*, o *first flush*, con la suficiente entidad, que provoque una mayor movilización de contaminantes en los primeros instantes del suceso de lluvia. El perfil de movilización es bastante constante durante los diferentes sucesos de lluvia, lo que impide la reducción del volumen necesario de retención frente a un objetivo de retención por masas de contaminación movilizadas.

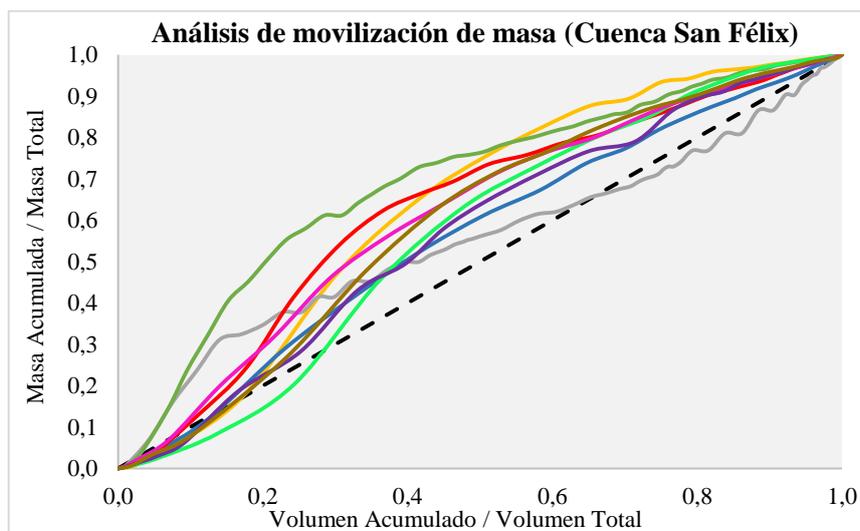


Figura 9. Distribución de las curvas Masa-Volumen para 9 episodios reales analizados en la cuenca San Félix.

Destacar que, para calcular la fracción de cantidad de DBO₅ retenida o aliviada, no se ha tenido en cuenta el potencial impacto de decantación de la presencia del depósito de retención sobre la concentración de DBO₅, por lo que el volumen realmente necesario podría ser menor.

CONCLUSIONES

En este trabajo se ha utilizado el modelo estadístico presentado por García et al. (2017), para el cálculo del volumen de retención necesario para minimizar el vertido de contaminantes al medio receptor en episodios de lluvia.

Siguiendo con la metodología anterior, se ha escogido la turbidez como el principal indicador de la contaminación en el agua residual basándose en estudios previos de la relación que existe entre este parámetro y el resto de contaminantes presentes en el agua.

Por medio de datos de turbidez, precipitación y caudal, se ha procedido al desarrollo de dos índices de predicción de contaminación capaces de obtener dos parámetros fundamentales del polutograma: el tiempo al pico y el valor de turbidez máxima. En base a estos dos índices se presenta una metodología de construcción de polutogramas. A partir de dichos índices, y según la correlación mostrada entre la turbidez y la DBO₅, se ha simulado el comportamiento de la cuenca San Félix en el denominado *año medio*, obteniéndose la serie temporal de cantidad de DBO₅ (en kg.) para cada suceso de lluvia de dicho *año medio*. De esta forma, se ha propuesto un objetivo de protección basado en el control de la cantidad de contaminación, no solamente en cantidad de agua de escorrentía vertida al medio receptor.

El resultado obtenido se ha comparado con la metodología propuesta en las ITOHG para el dimensionado de depósitos de retención, obteniéndose en este caso un valor similar debido a la ausencia del fenómeno de *primer lavado* en la cuenca objeto del presente estudio.

No obstante, no se ha incorporado al cálculo del porcentaje de la cantidad de DBO₅ el posible impacto de la decantación dentro del depósito de retención, por lo que una línea de estudio futura sería establecer dicho impacto dentro de la metodología propuesta, según la tipología y elementos auxiliares dentro del depósito de retención.

Aunque el trabajo es específico para la cuenca San Félix de Murcia, esta metodología puede ser usada como punto de partida para otras cuencas. Extender la aplicación de esta metodología a otros puntos de estudio podría llevar a la estandarización de los coeficientes y a la definición de un polutograma de diseño que pueda servir de referencia para otros estudios.

BIBLIOGRAFÍA

- Anta, J., Cagiao, J., Suárez, J., Peña, E. (2009). Análisis de la movilización de sólidos en suspensión en una cuenca urbana separativa mediante la aplicación del muestreo en continuo de la turbidez. *Ingeniería del Agua*, 16 (3), 189–200.
- ATV-STANDARD A-128. (2002). Standards for the dimensioning and desing of stormwater structures in combined sewer. German.
- Bersinger, T., Pigot, T.; Bareille, G., Le Hecho, I. (2013). Continuous monitoring of turbidity and conductivity: A reliable, easy and economic tool for sanitation management. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 171, 151-162.
- BOE. (2012). Real Decreto 1290/2012, de 7 de septiembre, por el que se modifica el Reglamento del Dominio Público Hidráulico. BOE 227 (20 septiembre 2012): 66167-66194.
- British Standard Sewage BS 8005. (1987). Part I. Guide to new Sewage Construction. England BS 8005.
- Del Río, H. (2011). Estudio de los Flujos de Contaminación Movilizados en Tiempo de Lluvia y Estrategias de Gestión en un Sistema de Saneamiento y Drenaje unitario de una Cuenca Urbana Densa de la España Húmeda. Tesis Doctoral, Universidade da Coruña, A Coruña, España.
- García, J.T., Espín-Leal, P., Viguera-Rodríguez, A., Castillo, L.G., Carrillo, J.M., Martínez, P.D., Nevado, S. (2017). Características de las Descargas de Sistemas Unitarios (DSUs) en la ciudad de Murcia. V Jornadas de Ingeniería del Agua. 24-26 de Octubre. A Coruña.
- García, J.T., Espín-Leal, P., Viguera-Rodríguez, A., Castillo, L.G., Carrillo, J.M., Martínez, P.D., Nevado, S. (2017). Urban Runoff Characteristics in Combined Sewer Overflows (CSOs): Analysis of Storm Events in Southeastern Spain. *Water*, 9, 303, doi: 10.3390/w9050303.
- Gromaire, M. C., Garnaud, S., Saad, M., & Chebbo, G. (2001). Contribution of different sources to the pollution of wet weather flows in combined sewers. *Water research*, 35(2), 521-533.

Gupta, K., Saul, A.J. (1996). Specific relations for the first flush load in combined sewer flows. *Water Research*, 30, 1244–1252.

Hannouche, A., Chebbo, G., Ruban, G., Tassin, B., Lemaire, B. (2011). Relation between turbidity and total suspended solids concentration within a combined sewer system. *Water Science and Technology*, 64(12), 2445-2452.

Leboutillier, D.W., Kells, J.A., Putz, G.J. (2000). Prediction of pollutant load in stormwater runoff from an urban residential area. *Canadian Water Resources Journal*, 25(4), 343-359.

Métadier, M., Bertrand-Krajewski, J.L. (2012). The use of long-term on-line turbidity measurements for the calculation of urban stormwater pollutant concentrations, loads, pollutographs and intra-event fluxes. *Water Research*, 46, 6836–6856.