

Análisis del funcionamiento de un depósito-aliviadero en el sistema de saneamiento unitario de la aglomeración de Lugo

Tema Agua y Ciudad

José Piñeiro¹, Ignacio Maestro², Francisco Aguirre¹, Pablo Ures², Daniel Torres², José Anta², Jerónimo Puertas², Joaquín Suárez²

- (1) Unidad de servicios de dirección de proyectos y obras de la Dirección Técnica de la CHMS (Proyfe)*
- (2) Confederación Hidrográfica del Miño-Sil. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.*
- (3) Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente (GEAMA) ETSICCP. CITEEC. Universidade da Coruña.*

jsuarez@udc.es, Telf: 981167000-ext 1456

1 Introducción

1.1 Marco general

El Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM) está desarrollando el *Plan Nacional de Calidad de las Aguas: Saneamiento y Depuración*, en donde se establecen, entre otras, las actuaciones necesarias para reducir el impacto en tiempo de lluvia de los sistemas de saneamiento en España. La gran mayoría de las medidas consideradas para mitigar este tipo de impactos consisten en la construcción de los denominados “depósitos de tormenta”. El diseño de este tipo de infraestructuras, cuyo uso ya es habitual en los sistemas de saneamiento y drenaje de tipo unitario en España, responde a criterios muy variables y no siempre bien justificados.

En España existe poca experiencia en la caracterización de los flujos que finalmente son enviados desde los aliviaderos de los depósitos de tormenta hacia los medios acuáticos receptores. La variedad de diseños (algunos orientados a capturar el primer lavado, otros orientados a trabajar como decantadores, otros diseñados con funciones fundamentalmente de regulación hidráulica, etc.), y los factores intrínsecos a la cuenca de drenaje y al régimen de lluvias, determina que los DSU de estas infraestructuras sean muy variables tanto en frecuencia de vertido, en volumen de agua vertida o en concentraciones de contaminantes.

1.2 Marco particular

En 1997 fueron declaradas “obras de interés general del Estado” (Ley 22/1997) las actuaciones de mejora del sistema de saneamiento y drenaje de la aglomeración urbana de Lugo. En diciembre de 1999 se suscribió un Protocolo General de Colaboración entre el Ministerio de Medio Ambiente, la Xunta de Galicia y la Confederación Hidrográfica del Norte (actual Confederación Hidrográfica del Miño-Sil). A partir de la firma de este Protocolo se desarrolló un estudio detallado de la situación existente que incluyó una revisión minuciosa de las infraestructuras de saneamiento de la ciudad y un análisis riguroso de las posibles soluciones a adoptar. Todo ello desembocó en la definición de los proyectos de cinco actuaciones concretas, cuya ejecución supondría la renovación integral del sistema general de saneamiento de la ciudad, tras una inversión total de 103 millones de euros, financiada en un 85% por el Fondo de Cohesión de la Unión Europea. Dichas infraestructuras ya están finalizadas y en funcionamiento. Como consecuencia de todas las actuaciones la ciudad de Lugo dispone en la actualidad un volumen en depósitos de tormenta del orden de 19.000 m³.

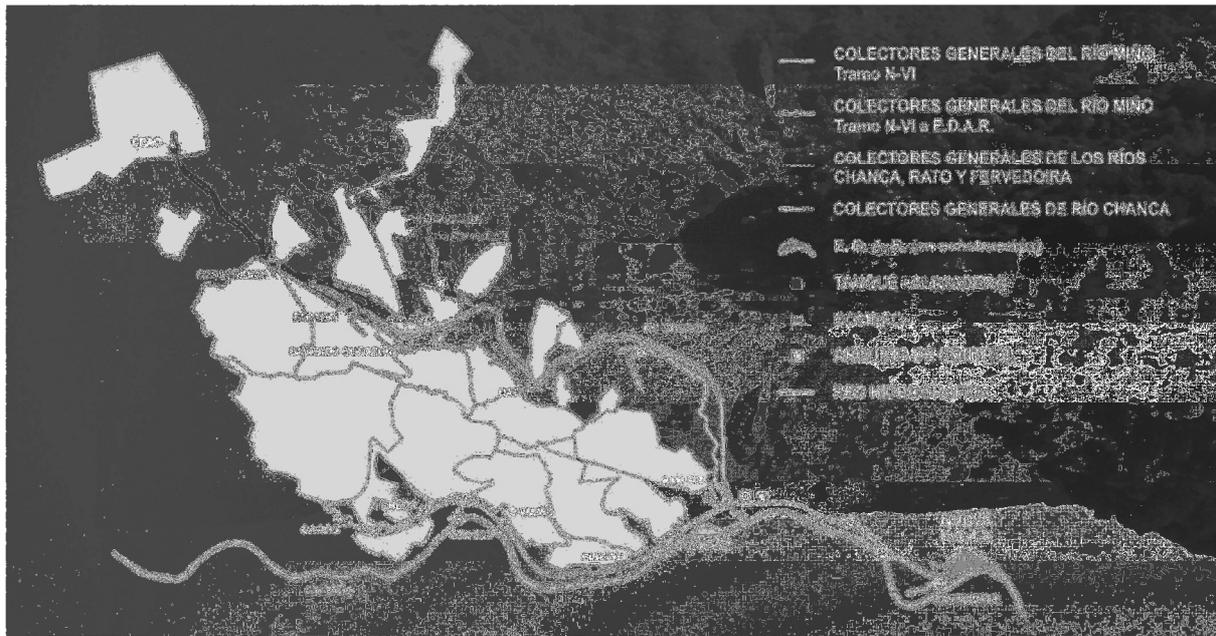


Figura 1 Esquema general de las obras del Saneamiento de Lugo.

La Confederación Hidrográfica del Miño-Sil (CHMS), aprovechando la necesidad de estudiar la realización de mejoras en una nueva zona de expansión de Lugo, que precisaría de un nuevo depósito, consideró de interés el dimensionar dicho depósito teniendo en cuenta los impactos sobre el medio receptor, pero de forma integrada, es decir, teniendo en cuenta la existencia de otros depósitos que podrían verter de forma simultánea sobre el río Miño. Se trabajó teniendo como referencia el manual “Urban Pollution Management” (UPM), de la “Foundation for Water Research” (1998), en Gran Bretaña. Como novedad de esta metodología se puede citar el uso de estándares que tienen en cuenta la dosis, la duración y la frecuencia de los sucesos de contaminación (Suárez et al., 2008).

Un aspecto fundamental en el estudio era conocer qué contaminación era la que se vertía desde los depósitos ya construidos. Se tomó la decisión de caracterizar uno de ellos, en concreto el denominado “Casás”. En los apartados siguientes se presenta la metodología seguida para caracterizar estos flujos y la valoración de los resultados obtenidos.

2 Objetivos del estudio

Los objetivos generales del estudio desarrollado por la CHMS fueron los siguientes:

- Analizar las presiones ejercidas sobre el río Miño por el nuevo sistema de saneamiento y drenaje de la ciudad de Lugo en tiempo de lluvia.
- Desarrollar una metodología de diseño y dimensionamiento de infraestructuras anti-DSU para minimizar las presiones y evitar los impactos sobre el medio acuático fluvial, en tiempo de lluvia.
- Avanzar en el uso de estándares de calidad del agua para sucesos transitorios de contaminación en sistemas acuáticos.

Los objetivos particulares fueron los siguientes:

- Analizar la situación actual del drenaje y saneamiento de la subcuenca “A Louzaneta”, y valorara su conexión con el actual colector interceptor del río Miño.
- Construir, y hacer operativo, un modelo numérico de simulación del sistema de saneamiento y drenaje de Lugo mediante el uso del SWMM.
- Construir, y hacer operativo, un modelo numérico de simulación del río Miño, en el tramo de afección por el sistema de saneamiento y drenaje de Lugo, mediante el uso del TURBILLÓN.

- Generar escenarios de interés para el análisis de la problemática ambiental a resolver, mediante modelización integrada.
- Valorar los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas y analizar el cumplimiento de los objetivos de calidad en el medio receptor.
- Proponer las claves del diseño ambiental de los diferentes elementos de las nuevas infraestructuras del sistema de saneamiento y drenaje a proyectar y construir.

La metodología general seguida para la realización del estudio, del cual sólo se presenta la caracterización de los DSU de uno de los depósitos, se basa en la modelización integrada de los diferentes elementos que interaccionan en el problema ambiental a resolver. En esta metodología una de las decisiones clave es la asignación de flujos máxicos de contaminación que son enviados al medio receptor en tiempo de lluvia desde el nuevo sistema de saneamiento y drenaje; en concreto, el definir las descargas del sistema unitario (DSUs) al Miño desde los depósitos-aliviadero recién construidos.

La simulación numérica hidrológico-hidráulica (mediante el SWMM calibrado para varias cuencas) permite, mediante estrategias de simulación continua de varios años de lluvias, el análisis del número de vertidos, su duración y los volúmenes descargados con suficiente precisión; sin embargo, la simulación numérica de la contaminación vertida presenta numerosas dificultades, y todavía no se ha podido realizar con calidad suficiente mediante modelos deterministas.

Como alternativa para la asignación de cargas contaminantes a los flujos vertidos desde los nuevos aliviaderos se tomó la decisión de trabajar en dos líneas: por un lado definir polutogramas sintéticos de entrada a los depósitos acompañando a los hidrogramas generados en tiempo de lluvia y, por otro, caracterizar los DSUs de alguno de los depósitos aliviadero más singulares. Ambas estrategias son complementarias: las medidas deben permitir calibrar y validar la metodología basada en polutogramas sintéticos.

Se decidió caracterizar los DSU del denominado depósito de detención-aliviadero de “Casás”, de 3.900 m³ de capacidad (31,4 m³/ha.neta), con configuración “en línea”, con regulación de caudal hacia la EDAR mediante compuerta motorizada.

3 Metodología

3.1 Instrumentación del depósito-aliviadero

En primer lugar se revisó la geometría del depósito y el equipamiento instalado (compuerta motorizada para poder fijar un caudal de salida, medidor de nivel en el interior del depósito mediante ultrasonidos, tamiz horizontal y basculantes de limpieza, todos ellos conectados a una unidad de telecontrol).

Para caracterizar el funcionamiento del depósito se decidió realizar una instrumentación independiente de la existente con el fin de no modificar o dañar los equipos y programación. La nueva instrumentación del depósito-aliviadero debía permitir caracterizar con precisión suficiente el comportamiento hidráulico (caudal de entrada, nivel de agua en el interior del depósito, caudal de salida hacia EDAR, caudal de salida por el aliviadero) y la contaminación vertida por el aliviadero.

Los equipos instalados fueron los siguientes: tomamuestras automático refrigerado SIGMA 900, transmisor indicador de nivel GREYLINE LIT25, almacenamiento de datos en TINYTAG PLUS, caudalímetros área-velocidad SIGMA 950, módulo ENDOL de comunicaciones por GPRS, sonda SOLITAX de medida en continuo de SS/turbidez. La redundancia en la instrumentación permitió comprender el funcionamiento de la compuerta de salida del depósito. La compuerta trabajó normalmente con apertura variable, ajustada a una determinada función de comportamiento para dejar pasar un determinado Q (caudal de consigna) hacia la EDAR, pero hubo periodos en los que trabajó con apertura fija.

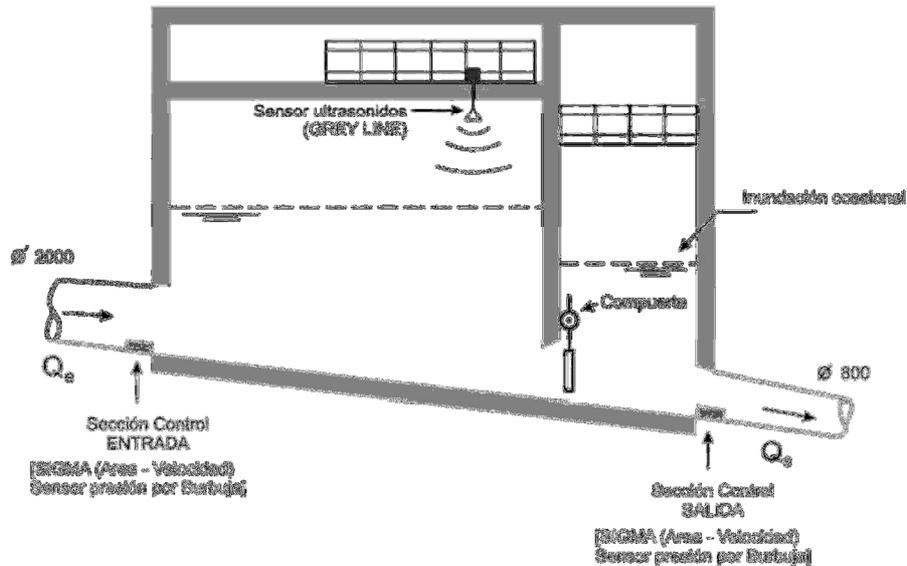


Figura 2 Croquis que representa la colocación de la instrumentación de control.

3.2 Campañas de caracterización de contaminación

El análisis de los beneficios del buen funcionamiento de las infraestructuras anti-DSU, de los depósitos de tormenta, se puede analizar desde un punto de vista hidráulico (número de vertidos a lo largo del año, volumen de escorrentía controlado, volumen vertido, etc.) o desde un punto de vista de minimización de la contaminación vertida. Este último análisis se puede realizar comparando valores tales como la concentración media de la DSU, la concentración máxima de las DSUs, la masa de contaminante vertida en un suceso específico o a lo largo de un determinado periodo de tiempo, con los valores que se producirían en el mismo punto con un aliviadero convencional sin capacidad de almacenamiento.

Para poder realizar estas comparaciones es preciso realizar los balances de masa de los diferentes contaminantes. Para caracterizar flujos máxicos es preciso medir caudales y/o niveles en la infraestructura, y medir la evolución de la contaminación a lo largo de todo el suceso de lluvia (medir polutogramas).

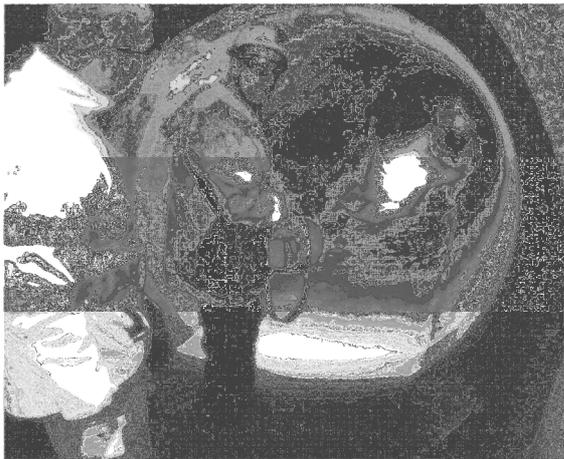


Figura 3 Sección de control de medida de caudal en la conducción de entrada al depósito-aliviadero de Casás y vista general del depósito.

Hay tres polutogramas clave en el funcionamiento de un depósito-aliviadero en línea: polutograma de entrada, polutograma hacia EDAR y polutograma de la DSU (la del vertido al medio receptor). Tres polutogramas implican, como mínimo, tres tomamuestras automáticos y el consiguiente número de muestras en cada suceso.

En este estudio, con recursos limitados, se tomó la decisión de caracterizar exclusivamente la contaminación vertida por el aliviadero.

En cada sucesos de llenado y vertido se tomaron muestras cada 5 minutos; dado que la variación de la contaminación es baja, debido al gran volumen del depósito, se generaron nuevas muestras mezclando 3 botellas consecutivas; esta nueva “muestras” de 3 litros permitió hacer un gran número de analíticas y ensayos. Por lo tanto, cada DSU se ha caracterizado, en los mejores casos, mediante 8 muestras separadas por intervalos de 15 minutos. En la fecha en que se escribe este documento se han caracterizado 6 sucesos de vertido a través de aliviadero ó DSUs, cuyos datos se presentan en la Tabla 2.

Los ensayos de DBO se han realizado hasta la DBO_{20} con el fin de poder calcular las constantes cinéticas de degradación (K_1) del agua de la DSU. Las constantes cinéticas obtenidas son de gran interés para ser introducidas en el modelo de calidad de aguas del río.

También se ha realizado una caracterización sencilla de las aguas residuales de tiempo seco, tomando 24 muestras durante dos días laborables con tiempo seco.

Los parámetros de contaminación que se han medido han sido los siguientes:

Tabla 1 Parámetros de contaminación medidos en las muestras tomadas.

Parámetros / Contaminantes convencionales	Indicadores de cont. bacteriológica	Metales pesados
Nitrógeno total	CF (UFC/100mL)	Ba2+
N-NH ₄ ⁺	E. Coli (UFC/100 mL)	Ba2+ (dis)
N-NO ₃ ⁻	Colif. Totales (UFC/100ml)	Cr total
Alcalinidad (mg/L CaCO ₃)		Cr total (dis)
Dureza		Fe total
COT/ C orgánico / C inorgánico		Fe total (dis)
DQO / DQO decantada		Al3+
P total		Al3+ (dis)
Fosfatos		Ni
DBO ₅ / DBO ₅ decantada / DBO ₂₀		Ni (dis)
Sólidos Totales fijos/volátiles		Cu
Sólidos en Suspensión fijos/volátiles		Cu (dis)
Sólidos Disueltos fijos/volátiles		Zn
Sólidos sedimentables (mL/L)		Zn (dis)
pH		Hg
T (°C) Lab		Hg (dis)
Conductividad (µs/cm)		Pb
Turbidez (UFT)		

3.3 Caracterización hidráulica

Uno de los elementos críticos que condicionan el funcionamiento del depósito-aliviadero es el dispositivo de regulación de caudales hacia la EDAR. Este dispositivo puede consistir en una válvula de vórtice, en un orificio con compuerta fija, o en un orificio con compuerta motorizada, como en el caso que nos ocupa.

Mediante la realización de un balance entre caudal de entrada y el agua acumulada en el depósito es posible calcular el caudal de salida. Este caudal se podría contrastar con el caudalímetro aguas abajo. En el seguimiento realizado, durante casi un año, la calibración se ha realizado estudiando varios sucesos de llenado y vaciado del tanque sin vertido por aliviadero. En una primera fase de seguimiento la calibración se realizó teniendo en cuenta medidas de caudal de entrada y salida y de nivel de la lámina de agua en el tanque; en una segunda fase de seguimiento tan sólo se han utilizado medidas de caudal de entrada y de nivel de la lámina de agua.

Para dar fiabilidad a los balances de cálculo de caudal de salida por la compuerta se trabajó con los datos los datos correspondientes al nivel de lámina de agua entre 100 y 470 cm, ya que por encima de los 470 cm de calado el agua comienza a rebosar a través del tamiz del depósito y por debajo de los 100 cm, el comportamiento del agua se ve afectado por efectos de fondo del tanque (que presenta una pendiente hacia el canal de tiempo seco) que modifican la geometría de los volúmenes a la hora de hacer balances.

El caudal medio de tiempo seco registrado ha sido del orden de 70 L/s. El caudal que enviaba el depósito hacia la EDAR era del orden de 620 L/s, cuando la compuerta móvil ha estado funcionando; es decir, del orden de 8,8 veces el caudal medio de tiempo seco. El máximo caudal registrado entrando al depósito ha sido del orden de 6,5 m³/s.

3.4 Resultados de la simulación hidráulica de la red de saneamiento y drenaje de Lugo en el año medio

El sistema de saneamiento y drenaje se puede dividir en dos grandes subsistemas: el del Miño y el del Rato-Fervedoria; el depósito de Casás pertenece al del Miño.

Con el fin de disponer de vertidos desde los depósitos-aliviaderos sobre el medio acuático fluvial se procedió a realizar la simulación numérica, mediante el SWMM, del comportamiento hidráulico del sistema de saneamiento y drenaje de Lugo para las lluvias del año medio (2008). La subcuenca drenante al depósito de Casás se caracteriza por tener un área total de 146,2 ha, con un grado de impermeabilidad del 84,7% y una pendiente media del 4,4%.

El depósito de Casás, según la simulación, y enviando 20 L/s por cada 1000 habitantes hacia la EDAR (del orden de 7 veces el caudal medio de tiempo seco), genera 24 vertidos al año medio analizado (2008), según criterios ITHOG (AHG-Xunta de Galicia; 2009). La precipitación total ascendió a 1.008 mm, con un número de episodios de lluvia de 220 (5 horas inter-evento). Al depósito llegaron del orden de 1.260.161 m³, y el porcentaje de vertido calculado ha sido del 10%; se retiene y controla un 90% de toda la escorrentía.

4 Resultados de la caracterización de la contaminación de los DSUs a través del aliviadero

Se ha caracterizado la contaminación de seis sucesos de lluvia que generaron el llenado y vertido de agua por el aliviadero del depósito. Las muestras fueron tomadas en la parte de arriba de la lámina de agua, a 30 cm de profundidad, en el interior del depósito, antes de atravesar el tamiz.

Tabla 2 Datos y parámetros de descripción de los sucesos caracterizados.

SUCESO	SUC1	SUC2	SUC3	SUC4	SUC5	SUC6	SUC7	SUC8
REFERENCIA	L240210	L270210	L150410	L031010	L131110	L070111	L210411	L010511
Año	2010	2010	2010	2010	2010	2011	2011	2011
Mes	FEBRERO	FEBRERO	ABRIL	OCTUBRE	NOVIEMBRE	ENERO	ENERO	MAYO
DD/HH comienzo LLENADO TANQUE	24-2-10 14:45	27-2-10 14:15	15-4-10 18:50	3-10-10 4:50	13-11-10 22:25	7-1-11 11:10	21-4-11 19:10	1-5-11 18:15
DD/HH final LLENADO TANQUE	25-2-10 7:40	27-2-10 19:15	15-4-10 21:50	3-10-10 13:30	14-11-10 1:50	7-1-11 14:25	22-4-11 0:15	2-5-11 1:10
Tipo de muestras	SIMPLES	SIMPLES	SIMPLES	SIMPLES	SIMPLES	SIMPLES	SIMPLES	SIMPLES
DD/HH comienzo del MUESTREO	24-2-10 16:35	27-2-10 16:15	15-4-10 19:03	3-10-10 5:55	13-11-10 23:55	7-1-11 12:50	21-4-11 19:10	1-5-11 20:00
DD/HH finalización del MUESTREO	24-2-10 18:30	27-2-10 17:30	15-4-10 20:28	3-10-10 6:00	14-11-10 0:10	7-1-11 13:50	21-4-11 20:30	1-5-11 21:45
Número de botellas recogidas	24	18	18	2	2	15	17	21
Número de muestras en el muestreo	8	6	6	1	1	5	6	7
Número de botellas por muestra	3	3	3	2	2	3	3 y 2	3
PRECIPITACIÓN								
Duración del tiempo seco precedente (días)	0.31	1.09	0.52	3.20	4.10	0.54	1.08	1.03
Precipitación total (mm)	61.2	20.9	6.6	56.8	21.1	6.6	11.2	10.1
DD/HH de inicio	24-2-10 11:25	27-2-10 3:15	15-4-10 18:25	3-10-10 0:10	13-11-10 21:30	7-1-11 9:00	21-4-11 19:00	1-5-11 18:55
DD/HH de fin	25-2-10 5:55	27-2-10 15:35	16-4-10 21:15	3-10-10 14:00	14-11-10 4:00	7-1-11 12:30	21-4-11 19:50	1-5-11 20:55
Duración del suceso (h)	18.5	12.3	2.8	13.8	6.5	3.5	0.8	2.0
Intensidad media del suceso (mm/h)	3.31	1.70	2.33	4.11	3.25	5.49	13.44	5.05
Intensidad 10minutal máxima (mm)	18.6	8.4	20.4	34.8	21.6	10.8	3.8	9
Máxima precipitación en 10 minutos (mm)	3.1	1.4	3.4	5.8	3.6	1.8	22.8	1.5
CAUDALES DE ENTRADA AL TANQUE EN EL SUCESO MUESTREADO								
MÍNIMO (L/s)	250	246	156	125	37	35	57	60
MÁXIMO (L/s)	3733	1848	6446	5246	5765	2011	2236	3487
MEDIO (L/s)	1168	727	769	925	878	510	984	725
COEF. PUNTA (Q _{máx} /Q _{mín})	15	8	41	42	156	58	39	58
VOLÚMENES (m ³)								
CONSIGNA A EDAR CONSIDERADA (L/s)	650	650	559	Variable	Variable	Variable	Variable	Variable
V TOTAL DEL SUCESO	83746	13137	7876	45677	22253	15849	Desconocido	40201
ESTIMACIÓN DEL V. ENVIADO A EDAR	48645	11724	6173	41716	18096	15849	22646	31101
ESTIMACIÓN DEL V. ALIVIADO	35102	1413	1703	3962	4157		Desconocido	9100
RELACIÓN V A EDAR/V ALIVIADO	1.4	8.3	3.6	10.5	4.4			3.4

En el gráfico siguiente se muestra el comportamiento del depósito frente a la precipitación del denominado SUCESO 1. Se produce vertido a partir de un calado de 470 cm.

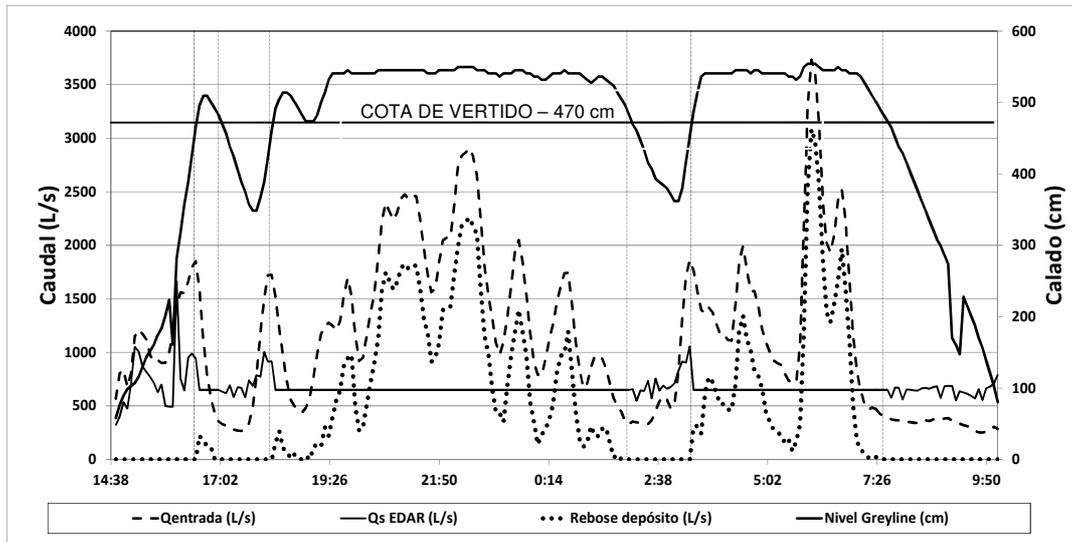


Figura 4 Registro de caudales y de niveles en el depósito-aliviadero durante el SUCESO 1.

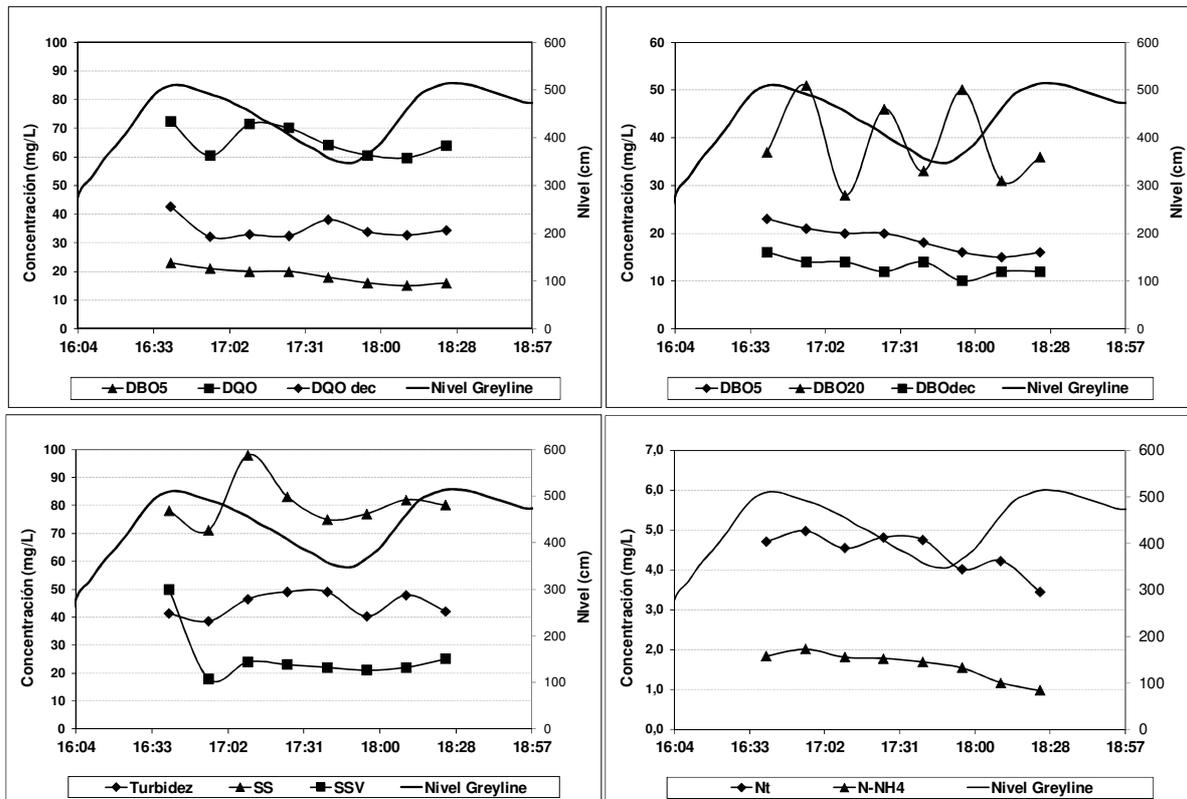


Figura 5 Ejemplos de polutogramas de parámetros de contaminación asociados al SUCESO 1.

En las figuras siguientes se muestran de forma integrada, mediante gráficos “box-whisker”, la media (punto negro), la mediana y el rango intercuartil, de los valores medios de vertido de los sucesos muestreados.

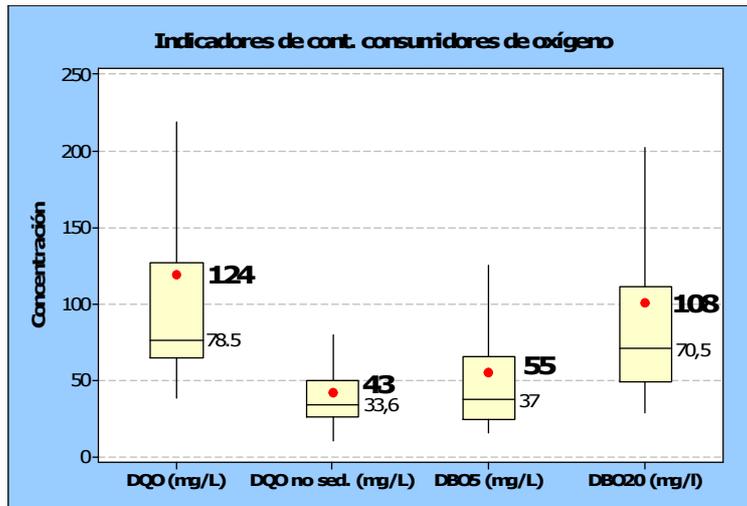


Figura 6 Valores de DQO y DBO de los valores medios de los sucesos muestreados

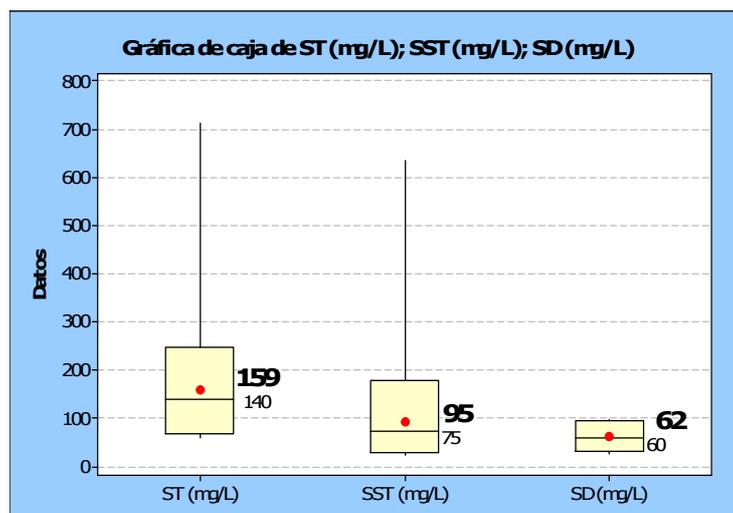
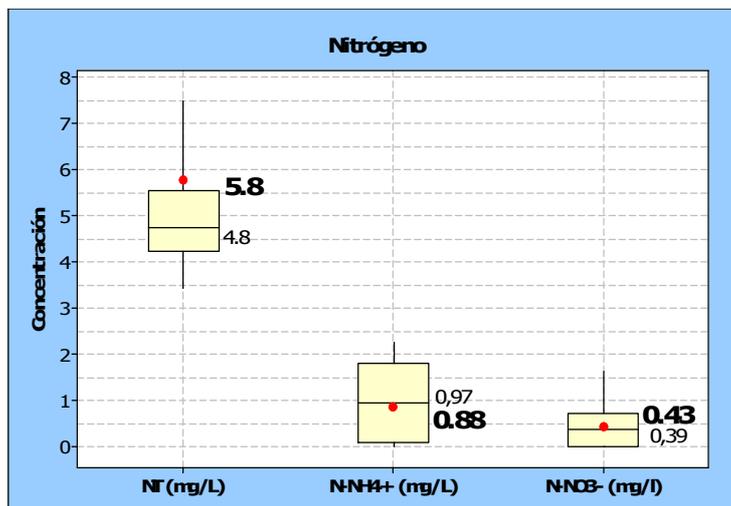


Figura 7 Tratamiento estadístico de los valores medios de formas de nitrógeno y diferentes fracciones de sólidos de los valores medios de los sucesos muestreados.

En las figuras siguientes se muestran los ajustes de funciones de probabilidad mediante diferentes ajustes de todos los valores de las determinaciones analíticas realizadas a todas las muestras tomadas durante la campaña de caracterización.

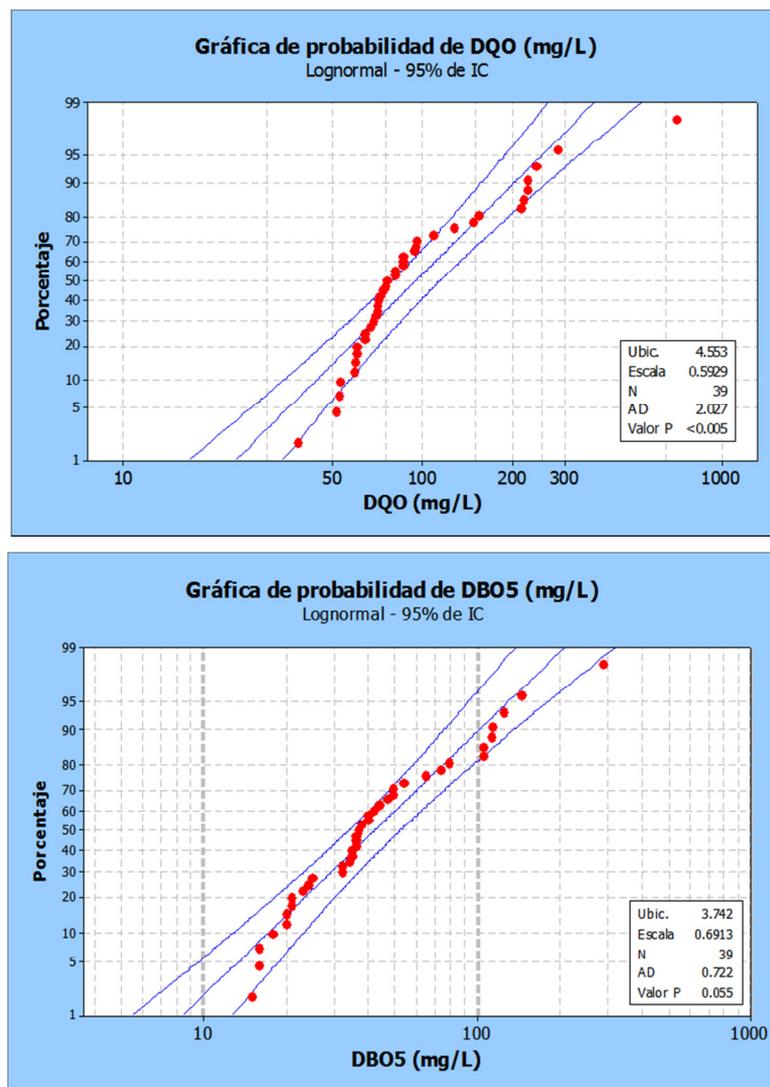


Figura 8 Gráficas de probabilidad acumulada de diferentes parámetros de contaminación.

En la tabla siguiente se presentan los valores de la mediana (valor cuya probabilidad de ser superado es del 50%) de las concentraciones de tiempo seco medidas y de las concentraciones medidas en los sucesos de rebose. También se presentan, para su comparación, los posibles valores de Concentración Media de Suceso (CMS) y de Concentración Máxima (CMAX) obtenidos de la base de datos de flujos de contaminación en tiempo de lluvia en 7 cuencas de saneamiento unitario de España (Del Río, H; 2011).

Tabla 3 Comparación de valores de concentraciones de contaminación de interés en el análisis del funcionamiento del depósito-aliviadero de Casás.

	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	N-NH ₄ ⁺ (mg/L)	SS (mg/L)	CF (UFC/100 mL)
DSU aliviadero	119	58	0,83	132,5	4,10E+06
CM tiempo seco	430	254	26,5	118,4	2,10E+07
CMS (base de datos)	593	300	11	471	1,60E+07
CMAX (base de datos)	1320	620	24	1143	4,30E+07
Atenuación respecto a CMS	80%	81%	92%	72%	74%

5 Conclusiones

El depósito detención-aliviadero de Casás, con su disposición en línea, presenta un gran rendimiento como infraestructura de reducción de impactos sobre el río Miño por DSUs. El depósito, además de controlar del orden del 90% de la esorrentía caída en la cuenca, atenúa, cuando hay vertido, el valor medio de concentración de la contaminación vertida entre un 72% (SS) y un 92% (N-NH₄⁺). Se aprecia, así mismo, que la atenuación de la contaminación bacteriológica no llega a un orden de magnitud, porque sigue siendo un agua que genera impactos si es importante controlar la contaminación bacteriológica de las aguas (baño, cultivos marinos,...).

6 Reconocimientos

Se agradece la colaboración prestada por el Concello de Lugo, y las empresas Gestagua y PROYFE. Este estudio se ha realizado en el marco de la redacción de un proyecto constructivo cofinanciado en un 70% por el fondo europeo de Desarrollo Regional de la Unión Europea

7 Referencias

AHG-XUNTA DE GALICIA (2009); “Instrucciones Técnicas de Obras Hidráulicas de Galicia”; Empresa Pública de Obras y Servicios Hidráulicos, Augas de Galicia y Universidade da Coruña.

Suárez, J.; Puertas, J.; Malgrat, P. (2008); “La necesidad de estándares intermitentes de calidad ambiental para la gestión adecuada del drenaje urbano y sus aliviaderos”; “XXVIII Jornadas AEAS”; Asociación Española de Abastecimientos y Saneamientos - AEAS; 28 a 30 de mayo de 2008; Zaragoza (España).

Del Río, H. (2011); “Flujos de contaminación en sistemas de saneamiento unitario en tiempo de lluvia: caracterización y estrategias de gestión”; GEAMA – Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente de la Universidade da Coruña, Tesis Doctoral.

CHMS (2010); “Proyecto de Colectores Generales del Río Miño en Lugo. Tramo N-VI. 2ª Fase”; Confederación Hidrográfica del Miño-Sil, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Mariño (2010).