CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

Madrid y el río Manzanares.

Los tanques de tormenta como infraestructuras de atenuación de las presiones de los sistemas de saneamiento unitario sobre las masas de agua.





MADRID, RÍO MANZANARES. LOS TANQUES DE TORMENTA COMO INFRAESTRUCTURAS DE ATENUACIÓN DE LAS PRESIONES DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO UNITARIO SOBRE LAS MASAS DE AGUA.

Autor Principal: Antonio Lastra de la Rubia (Canal de Isabel II).

Otros autores: Joaquín Suárez (GEAMA – Universidade da Coruña), Jerónimo Puertas (GEAMA – Universidade da Coruña), José Anta (GEAMA – Universidade da Coruña), David Sunyer (AQUATEC), Julia Abella (AQUATEC), Ángel Villanueva (AQUATEC), Mónica Ortega (Canal Isabel II), Jaime Botello (Canal de Isabel II) y Alejandro Pinilla (Canal de Isabel II)



RESUMEN

La incorporación del Artículo 259 ter 3 al Reglamento del Dominio Público Hidráulico, sobre desbordamientos de sistemas de saneamiento (DSU) en episodios de lluvia, puso de manifiesto la importancia de la gestión de este tipo de vertidos a las masas de agua y fijó obligaciones a las aglomeraciones de saneamiento para identificar y empezar a caracterizarlos. La posterior aparición de la Orden AAA/2056/2014, de 27 de octubre, por la que se aprueban los modelos oficiales de solicitud de autorización y de declaración de vertido, más en concreto en su apartado 5´.1, intentó ordenar el inventario y la autorización de los DSU.

Por otra parte, si se analiza el documento de evaluación de la Directiva 91/271 "COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT EVALUATION of the Council Directive 91/271/EEC of 21 May 1991, concerning urban waste-water treatment (Brussels, 13.12.2019, SWD (2019) 700 final)", se detecta la importancia que va a tener el control de los DSU en el futuro texto. Los DSU son considerados una fuente considerable de cargas de contaminación, cada vez más importante, y puede contener metales pesados, plásticos y microplásticos, que se incrementarán, entre otros motivos, por las fuertes precipitaciones que se están haciendo más frecuentes e intensas bajo el clima cambiante.

Para poder evaluar las presiones ejercidas por los DSU (ya sean desde aliviaderos convencionales o con sistemas de regulación y tratamiento, como los denominados tanques de tormenta) es precisa una caracterización cuantitativa y cualitativa que tenga en cuenta la elevada variabilidad de los mismos, bien en diferentes cuencas, en una misma cuenca e incluso en el mismo aliviadero.

El Canal de Isabel II puso en marcha en 2015 un ambicioso programa para la implantación progresiva de un sistema avanzado para la gestión y operación del Sistema Manzanares de Saneamiento, con el reto de mejorar la gestión de los DSU sobre el río Manzanares.

El Sistema Manzanares consta de sendos colectores a lo largo de ambos márgenes del río y, con el fin de reducir vertidos de DSU en tiempo de lluvia, dispone de una serie de tanques de tormenta principales, que en conjunto suman del orden de 1.150.000 m³, y un sistema secundario, cuyo volumen conjunto apenas supone 75.000 m³ adicionales, distribuidos en una veintena de pequeñas unidades. El conocimiento de los flujos, caudales y contaminación, que se generan durante los episodios de lluvia es clave para una toma de decisiones óptima, que haga trabajar todo el sistema de forma integrada, y que, por lo tanto, minimice o elimine las presiones sobre la sensible masa de agua que es el Manzanares.

En este documento se presentan resultados y conclusiones de los trabajos desarrollados durante tres años caracterizando la contaminación presente, tanto en flujos de tiempo seco como del tiempo de lluvia, en 6 importantes sistemas de control de DSU: tanque de Valdemarín, tanque de Pozuelo, tanque de Arroyofresno, y la infraestructura denominada 'Partidor', tanque de la China, y la infraestructura denominada Aliviadero General de Margen Izquierda (AGMI); tanque de Abroñigal y Aliviadero Sur, y en el tanque de tormentas de Butarque.

Se presentan los valores obtenidos en los siguientes parámetros de contaminación, intra-evento e inter-eventos, tales como: Ntotal, N amoniacal, DQO, DBO₅, SST, SS, SD, Ptotal, pH, CE o turbidez.

MADRID, RÍO MANZANARES. LOS TANQUES DE TORMENTA COMO INFRAESTRUCTURAS DE ATENUACIÓN DE LAS PRESIONES DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO UNITARIO SOBRE LAS MASAS DE AGUA.

El estudio puso de manifiesto las elevadas cargas que son movilizadas en tiempo de lluvia y las elevadas concentraciones punta y medias que se producen, durante largos periodos de tiempo con valores superiores a los del agua residual de tiempo seco. También se puso de manifiesto la importante labor de los tanques de tormenta, no solo evitando la salida de agua contaminada del sistema, sino también como atenuadores de las concentraciones de los DSU, comportándose como eficientes decantadores primarios.



ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	4
2.	METODOLOGÍA	8
3.	RESULTADOS	11
	3.1. Características generales de los flujos en tiempo seco y en tiempo de lluvia	12
	3.1.1. Resultados de la caracterización de tiempo seco	13
	3.1.2. Resultados de la caracterización de tiempo de lluvia	15
	3.2. Comparación de los resultados de caracterización con otros homologables en el territorio español	30
	3.2.1. Comparación de los resultados obtenidos en la caracterización de los "flujos de cuenca"	
	3.2.1. Comparación de los resultados obtenidos en el efecto de "atenuación" de los depósitos	32
4.	CONCLUSIONES	34
BII	BLIOGRAFÍA	36

MADRID, RÍO MANZANARES. LOS TANQUES DE TORMENTA COMO INFRAESTRUCTURAS DE ATENUACIÓN DE LAS PRESIONES DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO UNITARIO SOBRE LAS MASAS DE AGUA.

1. INTRODUCCIÓN

La mayor parte de los caudales transportados por la red de saneamiento y drenaje urbano de la ciudad de Madrid se articulan a través del eje de saneamiento del Manzanares. En la última década, mediante el "Programa de Mejora de la Calidad del Río Manzanares: Reducción de la contaminación generada por la Descarga de Sistemas Unitarios (DSU)", se estableció un conjunto de actuaciones en la red de saneamiento (tanques de tormenta, nuevos colectores y nuevos aliviaderos al río) para conseguir los objetivos marcados por el Plan Hidrológico de la Demarcación Hidrográfica del Tajo y, además, gracias a la reducción de las presiones sobre el río Manzanares, contribuir a que la estrategia "Madrid Río", tenga a su protagonista principal en un mejor estado ecológico y químico.

La gestión de un sistema de esta complejidad no es fácil debido a la interrelación de los diferentes elementos y a que, obviamente, esta interrelación varía cuando el sistema trabaja en tiempo seco o en tiempo de lluvia, siendo en este último caso el que presenta mayor dificultad y, por tanto, más opciones de mejora. Esta elevada complejidad ha impedido diseñar un protocolo integrado y centralizado para una mejor explotación de los diferentes elementos del sistema.

La problemática de los sistemas de saneamiento y drenaje en tiempo de lluvia tiene tres variables, o fenómenos, que se combinan y que determinan que el control de la contaminación, y de los impactos sobre el medio receptor, puedan ser mayores:

- La escorrentía superficial lava las calles y tejados, y arrastra materiales y contaminación, que puede llegar a ser muy importante, sobre todo en viales con mucho tráfico y después de un periodo de tiempo seco prolongado; también de algunas zonas industriales.
- Los "desbordamientos de los sistemas unitarios", o DSU, que son vertidos a través de aliviaderos de aguas que la red no puede transportar o retener ni mandar hacia la EDAR. Cuando se dispone de elementos de regulación o tanques de tormenta los DSUs se reducen notablemente, aunque es casi imposible que sean cero. En tiempo de lluvia se movilizan los sedimentos y depósitos que se han ido acumulando en los conductos y en los pozos de registro durante el tiempo seco. Se generan flujos mucho más contaminados, en periodos prolongados, que las propias aguas residuales que circulan en tiempo seco. Es fundamental retener estas aguas y enviarlas a la EDAR, pero de forma controlada.
- Las depuradoras no pueden recibir cualquier caudal. Los procesos biológicos son muy sensibles a las variaciones de carga y de caudal por lo que no se las suele someter a más de tres veces los caudales medios que reciben en tiempos seco. Si en tiempo de lluvia se superan ciertos límites los procesos se desequilibran y dejan de cumplir sus objetivos, sus rendimientos durante días o semanas.

La Figura 1 representa el río Manzanares a su paso por Madrid y recoge el sistema de tanques de tormenta (también conocidos como estanques de tormenta o depósitos de retención, según el documento que se consulte). Se puede apreciar que existe un sistema de depósitos primarios (o principales), que en conjunto suman del orden de 1.188.000 m³, y un sistema secundario,

MADRID, RÍO MANZANARES. LOS TANQUES DE TORMENTA COMO INFRAESTRUCTURAS DE ATENUACIÓN DE LAS PRESIONES DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO UNITARIO SOBRE LAS MASAS DE AGUA.

cuyo volumen conjunto apenas supone 78.542 m³ adicionales, distribuidos en casi una treintena de pequeñas unidades (ver Tabla 1).

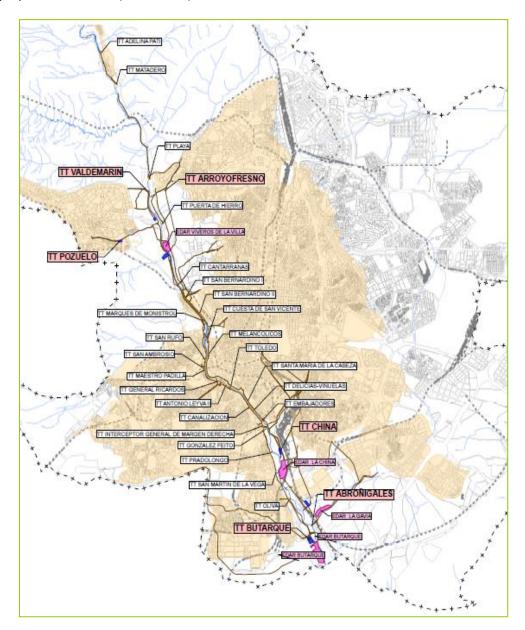


Figura 1. Estanques de tormenta, primarios y secundarios, en el sistema Manzanares.

El sistema de saneamiento Manzanares se puede dividir o agrupar en dos subsistemas:

En la zona Norte, o subsistema Norte:

- Tanque de tormentas de Valdemarín.
- Tanque de tormentas de Pozuelo.
- Tanque de tormentas de Arroyofresno, y la infraestructura asociada denominada "Partidor".

MADRID, RÍO MANZANARES. LOS TANQUES DE TORMENTA COMO INFRAESTRUCTURAS DE ATENUACIÓN DE LAS PRESIONES DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO UNITARIO SOBRE LAS MASAS DE AGUA.

En la zona Sur, o subsistema Sur, se trabajó en los siguientes emplazamientos:

- Tanque de tormentas de la China, y la infraestructura asociada denominada Aliviadero General de Margen Izquierda (AGMI).
- Tanque de tormentas de Abroñigal y Aliviadero Sur (cámara de derivación de La Gavia).
- Tanque de tormentas de Butarque, con varias arquetas de derivación y desbordamiento previas.

Tabla 1. Tanques de tormenta en el sistema Manzanares.

NOMBRE DEL DEPÓSITO	COLECTOR MARGEN	FUNCIÓN	VOLUMEN (m³)
MD- Pozuelo	Derecho	Primario	30.000
MD- Arroyofresno	Derecho	Primario	400.000
MI- La China	Izquierdo	Primario	130.000
MD- Butarque	Derecho	Primario	400.000
MI- Abroñigales	Izquierdo	Primario	200.000
MD- Valdmarín	Derecho	Primario	28.000
	TOTAL VOLUMEN		1.188.000
NOMBRE DEL DEPÓSITO	COLECTOR MARGEN	FUNCIÓN	VOLUMEN (m³)
MI- Cantarranas	Izquierdo	Secundario	3.215
MD- Antonio Leyva 11	Derecho	Secundario	600
MI- Santa María de la Cabeza	Izquierdo	Secunda rio	1.300
MI- Puente de San Fernando	Izquierdo	Secundario	2.000
MI- San Bernardino 11	Izquierdo	Secundario	2.415
MD- San Rufo	Derecho	Secundario	1.660
MD- Antonio Leyva 1	Derecho	Secundario	600
MD- Canalización	Derecho	Secundario	2.432
MI- Delicias Viñuelas	Izquierdo	Secundario	2.800
MI - Embajadores	Izquierdo	Secundario	2.000
MD- La Oliva	Derecho	Secundario	5.400
MD- General Ricardos	Derecho	Secundario	2.226
MD- Pradolongo	Derecho	Secundario	1.700
MI- San Bernardino 1	Izquierdo	Secundario	1.750
MD- Marqués de Monistrol	Derecho	Secundario	579
MD- González Feíto	Derecho	Secundario	2.944
MD- San Martín de la Vega	Derecho	Secundario	520
MD- Ermita del Santo	Derecho	Secundario	3.300
MI- Cuesta de San Vicente	Izquierdo	Secundario	5.050
MI- Toledo	Izquierdo	Secundario	2.117
MD- Interceptor general MD	Derecho	Secundario	7.870
MD- Maestro Padilla	Derecho	Secundario	2.330
MI- Melancólicos	Izquierdo	Secundario	1.370
MI- Playa de Madrid	Izquierdo	Secundario	7.400
MI- Matadero	Izquierdo	Secunda rio	8.800
MI- Adelina Pati	Izquierdo	Secundario	4.600
MD- San Ambrosio	Derecho	Secundario	1.564
	TOTAL VOLUMEN EN	I SECUNDARIOS	78.542
		TOTAL	1.266.542

Esta zonificación es consistente con la ubicación de las EDAR del eje del río Manzanares (ver Figura 2). Se observó que en la zona Norte hay una única ERAR (Viveros) y, por tanto, los tanques de la zona Norte tienen como misión fundamental regularizar el flujo hacia esa EDAR (aunque existe la posibilidad de derivar agua residual hacia el subsistema Sur), mientras que en la zona

MADRID, RÍO MANZANARES. LOS TANQUES DE TORMENTA COMO INFRAESTRUCTURAS DE ATENUACIÓN DE LAS PRESIONES DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO UNITARIO SOBRE LAS MASAS DE AGUA.

Sur hay cuatro EDAR (La China, La Gavia, Butarque y Sur). Sus caudales autorizados de vertido son:

Viveros: 2,2 m³/s (700.000 h.e.).
La China: 3,7 m³/s (1.335.000 h.e.).
La Gavia: 2 m³/s (1.353.600 h.e.).
Butarque: 3,5 m³/s (1.612.800 h.e.).

Sur: 6,5 m³/s. (2.937.600 h.e).

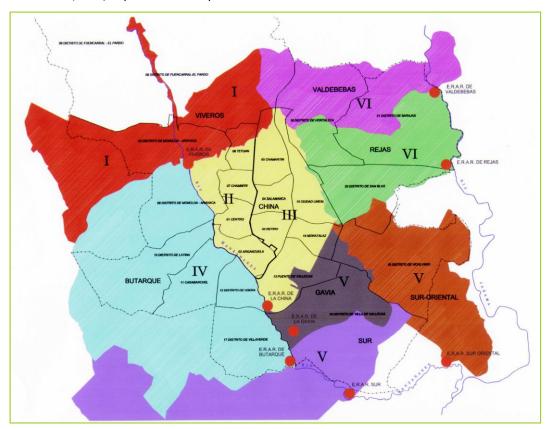


Figura 2. Sistema de depuración de Madrid.

A lo largo del río Manzanares, como se aprecia en la Figura 1, hay sendos colectores a lo largo de ambas márgenes. Estos colectores permiten la interconexión de las zonas de aportación, con lo que la asignación de la Figura 2 no es tan clara como podría pensarse. En la práctica, en el Norte hay una relativamente escasa capacidad de tratamiento, y la EDAR Viveros no tiene capacidad para tratar en tiempo real los caudales que se generan en tiempo de lluvia, con lo que se deriva un caudal relevante hacia aguas abajo por ambos colectores de margen.

También se observó que había un importante desequilibrio entre ambas márgenes. La única ERAR en la margen derecha es Butarque. Aunque en el Norte el agua se deriva hacia Viveros, atravesando el río, toda el agua recogida a lo largo de la ciudad en la margen derecha llegaba hasta Butarque, cuya capacidad es claramente insuficiente, con lo que inmediatamente antes del tanque de tormentas y de la EDAR hay un by-pass hacia la depuradora Sur. Existe constancia de, al menos, otro by-pass, en el entorno del tanque de tormentas de Oliva.

MADRID, RÍO MANZANARES. LOS TANQUES DE TORMENTA COMO INFRAESTRUCTURAS DE ATENUACIÓN DE LAS PRESIONES DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO UNITARIO SOBRE LAS MASAS DE AGUA.

En tiempo seco este juego de caudales puede funcionar de un modo racional y sencillo, ya que el número de grandes estructuras e instalaciones es limitado. Pese a todo, se producen episodios de by-pass incluso en tiempo seco. En tiempo de lluvia, con caudales un orden de magnitud superiores, las derivaciones entre los sistemas no seguían, en ocasiones, una lógica que permitiese optimizar las instalaciones, y sólo la gran capacidad de los depósitos permitía un funcionamiento sin grandes vertidos de DSU al río.

Existía una gran cantidad de instrumentación en cada una de las infraestructuras (de regulación y derivación, tanques, ERAR) y también en el propio río Manzanares, que debería permitir una gestión integrada del sistema, pero eso no estaba ocurriendo, esencialmente por varios motivos:

- Una parte sustantiva de la instrumentación o no funcionaba, o arrojaba resultados que no eran fiables. El mantenimiento de muchos centros de datos era muy mejorable y algunos eran, probablemente, irrecuperables.
- Un número sustantivo de señales se recibían, pero no existía un sistema que convirtiese esas señales en bruto en información válida para la toma de decisión, con lo que la decisión centralizada no era posible.
- No existía integración de señales de otros organismos que podría ser relevante para la explotación (p.ej. pluviómetros).

La ausencia de un sistema de toma centralizada de decisión llevaba a que cada explotador decidiese sobre su propia infraestructura (ya sea un tanque de tormentas o una estructura de regulación o derivación) sin disponer de un contexto que le permitiese colaborar en la optimización del sistema global, y con esas premisas cada explotador tendía, en el mejor de los casos, al mejor funcionamiento de su propia estructura. El hecho de que hubiese una variedad de empresas explotadoras, que ni siquiera asumían zonas concretas, sino que se ocupaban de estructuras de un modo más o menos disjunto llevaba a que, en la práctica, el operador de una ERAR y de los tanques con los que debía coordinarse no eran el mismo, y la coordinación efectiva no se daba. Las ERAR tienden a no estresar sus etapas de tratamiento y los tanques no pueden vaciarse al ritmo para el que fueron diseñados hacia las EDAR.

En el subsistema Norte existe una válvula de escape sencilla, que es la derivación a los colectores de margen, con lo que apenas se producían vertidos. En la zona Sur se recibía una sobrecarga derivada de sus propios problemas de falta de capacidad en EDAR y de los excesos que venían del Norte, lo que generaba vertidos en la zona del Aliviadero General de la Margen Izquierda, en el Aliviadero Sur y en el entorno de Butarque. Como la gestión integrada no se daba de modo real, algunos de estos vertidos se producían sin que los depósitos hubiesen alcanzado su capacidad máxima.

2. METODOLOGÍA

El Canal de Isabel II desarrolló entre los años 2016 y 2019 un detallado estudio de los flujos de contaminación en tiempo de lluvia en diferentes cuencas de saneamiento de la aglomeración de Madrid con el fin de analizar la presión de los desbordamientos del sistema unitario (DSU) sobre el río Manzanares. El estudio implicó la caracterización de los flujos de aguas residuales, tanto en tiempo seco como en tiempo de lluvia, vinculados a diferentes tanques de tormenta y a diferentes infraestructuras clave de la gestión en tiempo de lluvia de la red y de las

MADRID, RÍO MANZANARES. LOS TANQUES DE TORMENTA COMO INFRAESTRUCTURAS DE ATENUACIÓN DE LAS PRESIONES DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO UNITARIO SOBRE LAS MASAS DE AGUA.

depuradoras (aliviaderos, arquetas de derivación de flujos, compuertas, etc.). Este estudio fue parte del contrato denominado "Implantación de un sistema avanzado para la operación del sistema Manzanares", contrato, Nº: 284/2014, de la Subdirección I+D+I. Los trabajos fueron contratados a la empresa AQUATEC, que contaba con la asistencia técnico-científica del Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente de la Universidade da Coruña (GEAMA-UDC).

Las fases más importantes desarrolladas fueron:

- Recopilación de información y datos; interpretación y revisión del esquema funcional del Sistema Manzanares. Identificación de infraestructuras clave, recopilación de información de detalle, diálogo con las empresas de mantenimiento y explotación, análisis de la instrumentación existente y de los datos que recogen, con el fin de lograr una interpretación inicial de su funcionamiento. Desarrollo de informes específicos de cada tanque de tormenta y de las infraestructuras que lo complementan.
- Caracterización del funcionamiento y de la eficiencia de infraestructuras clave mediante los datos de la instrumentación existente y de nueva instrumentación (caudalímetros, limnímetros, sistemas de toma de muestras, ...) y desarrollo de campañas de seguimiento durante varios meses.
- Modelización numérica del funcionamiento del sistema de saneamiento teniendo en cuenta las presiones y posibles impactos sobre el medio receptor en función de diferentes escenarios de gestión de los tanques de tormenta, proponiendo las estrategias de gestión que mejorasen el funcionamiento del sistema de saneamiento y minimicen los impactos. Finalmente se propondrá un protocolo de gestión coordinada de los tanques y EDARs que incorpore las mejoras en la gestión descritas anteriormente.

A continuación, se presentan las principales etapas metodológicas seguidas:

a) Recopilación de la información y revisión del esquema funcional del sistema de saneamiento Manzanares.

La tarea inicial, y básica, para la consecución de los objetivos fue la recopilación y análisis de la toda la información disponible que describiese las infraestructuras de saneamiento y las estrategias de explotación vigentes en ese momento. Se recopiló la siguiente información:

- Información de las principales infraestructuras del sistema Manzanares (tramos, pozos, puntos de DSU y de vertido, bombeos, etc.) con su ubicación en planta y en alzado, y con la información necesaria para poderlos caracterizar correctamente desde el punto de vista hidráulico.
- Información de las subcuencas de aportación del sistema y sus características morfológicas (áreas, usos del suelo, grado de impermeabilización, pendientes y cotas del terreno, habitantes reales y habitantes equivalentes, etc.).
- Información sobre los diferentes actuadores de la red, sobre todo los asociados a los tanques de tormenta, bombeos y compuertas, con atención a sus principales características físicas y a su funcionamiento habitual en tiempo seco y durante episodios de lluvia. Además, de cara tanto a la realización de la campaña de caracterización como a la calibración de los modelos, es importante recopilar los valores históricos de su funcionamiento para algunos episodios de lluvia concretos.
- Información sobre las EDARs, sobre todo en referencia a sus principales características físicas y a su funcionamiento habitual tanto en tiempo seco como durante los episodios

MADRID, RÍO MANZANARES. LOS TANQUES DE TORMENTA COMO INFRAESTRUCTURAS DE ATENUACIÓN DE LAS PRESIONES DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO UNITARIO SOBRE LAS MASAS DE AGUA.

- de lluvia. Es clave conocer los caudales máximos que son capaces de tratar en las diferentes etapas. También es de gran utilidad recabar información histórica sobre los caudales y rendimientos de tratamiento tanto en tiempo seco como en tiempo de lluvia.
- Información histórica de pluviometría en la zona de estudio. Es muy deseable disponer de información de intensidades con frecuencia cinco minutal de la zona de estudio, aunque frecuencias mayores (10 minutal, 15 minutal o incluso horaria también son de utilidad).
- Información histórica de los sensores existentes en el sistema de saneamiento Manzanares y que puedan ser útiles tanto para las campañas de caracterización de flujos como para el proceso de calibración de los modelos (caudalímetros, limnímetros, sensores de contaminación, analíticas del afluente y efluente de EDARs, etc.)
- Información sobre la morfología del medio receptor (topografía, batimetría, geometría de obras transversales, etc.) así como información histórica de niveles, caudales y calidad de las aguas en el río y de estudios históricos que puedan existir sobre la en análisis del estado de la masa de agua (fisicoquímico, biológico, etc.) y sobre todo de la influencia de los vertidos de DSU del saneamiento en la calidad del río.

b) Elaboración de protocolos de actuación en cada subcuenca.

- En cada subsistema en el que se trabajó se elaboró un documento denominado "protocolo de actuación". Este protocolo integró toda la información que fue posible recopilar sobre las características de las infraestructuras de la cuenca (sobre todo del tanque de tormenta y de todas las infraestructuras complementarias) y de su funcionamiento, y estableció las pautas a seguir para caracterizar los flujos tanto de tiempo seco como de tiempo de lluvia. El contenido general de este documento se presenta a continuación:
- Descripción general del tanque y sus infraestructuras complementarias (ubicación y cuenca asociada, criterios de diseño y funcionalidad, geometría de la infraestructura y elementos principales, sistema de limpieza, sistema de telecontrol, disponibilidad de servicios auxiliares (agua y energía), esquema de funcionamiento del tanque y de las infraestructuras de control, regulación y derivación asociadas, descripción de la estrategia de explotación teórica y la real).
- Identificación de los agentes implicados en la operativa y responsabilidades.
- Preparación de las campañas de caracterización (instrumentación requerida para la caracterización del tanque y de las infraestructuras asociadas, medición de niveles/calados, medición de caudales, sistema de tomas de muestras, sistema de comunicaciones, instalación de instrumentación adicional, descripción de las características de esta instrumentación auxiliar).
- Definición de la operativa durante la campaña de caracterización (criterios de activación de recogida de muestras, protocolo de actuación para la recogida de muestras y descarga de datos de equipos, criterios para la validación del suceso).
- Metodología de gestión de las muestras (codificación, transporte a laboratorio, operativa posterior a las campañas, análisis de muestras y envío de resultados analíticos)
- Descripción de la metodología de tratamiento posterior de datos e integración en las "fichas de suceso".



3. RESULTADOS

Se caracterizaron un total de 6 sistemas de control de los Desbordamiento de los Sistemas Unitarios con el objetivo de implantar un sistema avanzando para la operación del sistema de saneamiento del río Manzanares. Los sistemas analizados se corresponden con las siguientes estructuras de control, que se pueden clasificar en la zona de explotación Norte y zona de explotación Sur (subsistemas Norte y Sur).

La ubicación de los sistemas analizados en un croquis general de todo el sistema de saneamiento del río Manzanares se presentan en la Figura 3.

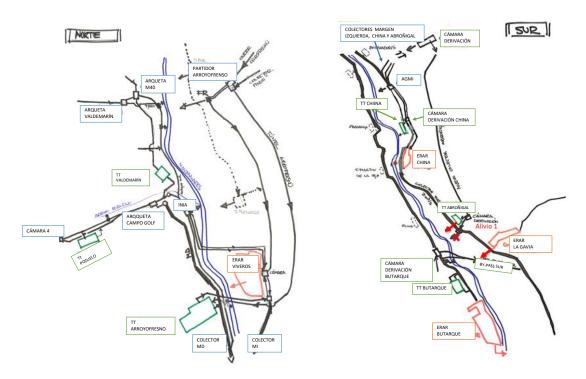


Figura 3.- Sistema general del Manzanares. Zona Norte y Zona Sur.

La descripción detallada de todos estos sistemas se recogió en documentos denominados "Protocolos de Caracterización" elaborados para cada infraestructura. A continuación, se presenta un resumen de las características generales de funcionamiento.

En los sistemas de la zona norte se realizó la caracterización de los tanques de tormenta de Pozuelo, Valdemarín y el conjunto Partidor – Tanque de Arroyofresno. Los tanques de tormenta de Pozuelo y Valdemarín se corresponden con el área de drenaje situada en la margen derecho del río Manzanares. Ambos tanques están en la parte alta del sistema.

Ambos tanques derivan el agua residual hacia la denominada "cámara de derivación del INIA", donde se puede enviar agua hacia la ERAR de Viveros o hacia el colector general del Margen Derecho (MD). La operación de esta estructura es clave para poder analizar el funcionamiento de la margen derecha en la zona norte del sistema del Manzanares.

MADRID, RÍO MANZANARES. LOS TANQUES DE TORMENTA COMO INFRAESTRUCTURAS DE ATENUACIÓN DE LAS PRESIONES DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO UNITARIO SOBRE LAS MASAS DE AGUA.

Por otra parte, por la margen izquierda, la cuenca de Arroyofresno conduce sus aguas hacia el Partidor de Arroyofresno, donde se envía el agua residual en tiempo de lluvia hacia el tanque de Arroyofresno, situado en la margen derecha del sistema. El tanque de tormenta de Arroyofresno permite realizar su vaciado hacia el colector de MD, o hacia una cámara de derivación en la margen izquierda que a su vez puede conducir el flujo de agua residual hacia la ERAR de Viveros o hacia el colector de Margen Izquierda (MI).

En la zona sur se trabajó en la margen izquierda en las cuencas de Abroñigal y la China, en concreto en el sistema formado por el AGMI – tanque de tormentas de la China, y el tanque de tormentas de Abroñigal y el Aliviadero Sur situado en la cámara de derivación de la Gavia. Los colectores de la China, Abroñigal, junto con el colector de MI se unen en el AGMI, donde el agua residual se puede enviar hacia la EDAR de la China, continuar por el colector de MI o, en tiempo de lluvia, almacenarse en el tanque de tormentas de la China. Como el sistema no es capaz de tratar toda el agua residual en tiempo de lluvia, aguas arriba del AGMI, los colectores de Abroñigal y la China cuentan con una cámara de derivación que permite enviar el agua residual directamente hacia el tanque de tormentas de Abroñigal a través del nuevo colector de Abroñigal. Este tanque cuenta con una estructura de alivio que aparentemente no funciona con mucha frecuencia. Sin embargo, el colector de MI cuenta aguas abajo de la incorporación del tanque de Abroñigal con el Aliviadero Sur, que si puede verter con más frecuencia.

Por último, en la zona sur por la margen derecha se encuentra el conjunto de la EDAR de Butarque y el tanque de tormentas de Butarque. El tanque de tormentas de Butarque cuenta con conjunto de cámaras previas de derivación que permiten enviar agua la ERAR de final de línea, realizar un by-pass hacia la MI, llenar el tanque o aliviar hacia el río Manzanares. Tanto la EDAR de la China como la EDAR de Butarque están muy cargadas con el funcionamiento en tiempo seco, y su capacidad de maniobra durante los episodios de lluvia es muy limitada, por lo que habitualmente la estrategia de gestión puede consistir en trasladar el problema hacia el colector de margen izquierda y la EDAR Sur, que es el final de línea de todo el sistema.

Por último, se puede señalar que la definición de las cuencas tributarias de los sistemas analizados en la zona sur fue mucho más compleja, ya que son zonas muy amplias y que cuentan con caudales de tiempo seco de cuencas situadas aguas arriba transportadas por los colectores de margen. Además, existen derivaciones de flujos entre el colector de MD y MI en la cámara del INIA y en el by-pass de Butarque, o derivaciones entre el AGMI – Abroñigal en la cámara de derivación de este sistema, que dificultaron la realización de un balance general en todo el sistema del Manzanares.

3.1. Características generales de los flujos en tiempo seco y en tiempo de lluvia

En los siguientes apartados se presentan de forma resumida las principales características de los depósitos caracterizados, los días de tiempo seco caracterizados y las principales características de los flujos caracterizados en tiempo de lluvia (con sus códigos de referencia).

MADRID, RÍO MANZANARES. LOS TANQUES DE TORMENTA COMO INFRAESTRUCTURAS DE ATENUACIÓN DE LAS PRESIONES DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO UNITARIO SOBRE LAS MASAS DE AGUA.

3.1.1. Resultados de la caracterización de tiempo seco

La información de los caudales y contaminación de tiempo seco en los sistemas de saneamiento es fundamental para tener una mejor comprensión de la contaminación de los flujos de la cuenca en tiempo de lluvia y de los DSU. A la hora de determinar la contaminación asociada a las aguas pluviales en los flujos en tiempo de lluvia (bien procedente de la escorrentía de la superficie bien de los sedimentos de los colectores) durante un suceso de lluvia se debe sustraer del total del flujo, y de sus cargas contaminantes, la componente proveniente de las aguas residuales urbanas típicas o de tiempo seco (las circulantes si no estuviese presente el agua de lluvia), ya que suelen suponer un porcentaje significativo del contenido total, sobre todo en algunos contaminantes, como el Nitrógeno o el Fósforo.

A continuación, se presenta una síntesis de la caracterización de los flujos de tiempo seco, considerando como parámetro fundamental la concentración media diaria. En la Tabla 2 se presenta el resumen de las campañas realizadas, tanto en días laborables como en festivos, en las ubicaciones de la zona Norte (Pozuelo y Arroyofresno) y de la zona Sur (Butarque y La China-AGMI). Se incluyen los promedios para todas las ubicaciones en días laborables y festivos, y la media global característica para todo el eje Manzanares de Madrid.

Tabla 2. Concentraciones medias de emplazamiento en los flujos de tiempo seco caracterizados en los depósitos, y promedios globales.

PARÁMETROS	POZ- FES	POZ- LAB	ARROY- FES	ARROY- LAB	BUTAR- FES	BUTAR- LAB	CHINA- FES	CHINA- LAB	MEDIA - FES	MEDIA - LAB	MEDIA
N-total (mg/L)	58,3	42,3	54,6	58,7	75,6	52,8	68,3	59,9	64,2	53,4	58,8
N-NH ₄ ⁺ (mg/L)	41,4	38,2	40,8	46,5	50,8	48,2	54,9	55,0	47,0	47,0	47,0
DQO (mg/L)	530	560	500	573	672	654	542	357	560,8	536,3	549
DQO sol. (mg/L)	156	223	263	251	401	402	177	207	249,5	270,6	260
P total (mg/L)	8,2	7,2	6,1	7,7	8,3	8,3	7,1	6,2	7,4	7,4	7,4
DBO ₅ (mg/L)	288	308	250	292	417	389	316	183	317,8	293,3	306
ST (mg/L)	743	529	438	584	778	742	678	510	659,5	591,4	625
SS (mg/L)	196	177	128	129	182	172	128	<i>57</i>	158,3	134,0	146
SSV (mg/L)	150	152	119	117	168	167	127	<i>57</i>	140,9	123,4	132
SSF (mg/L)	46	25	10	12	14	5	0	0	17,4	10,5	14,0
SD (mg/L)	547	352	310	455	597	570	550	453	501,2	457,4	479
SSed (mL/L)	4,2	0,7	0,5	3,5	4,3	2,4	4,0	2,6	3,3	2,3	2,8
pH (uds)	6,9	6,9	7,0	6,9	6,9	6,9	7,5	7,4	7,1	7,0	7,0
CE (μs/cm)	948	877	787	839	1014	1003	1000	1062	937,3	945,2	941
TURB. (UNF)	75,2	157,5	42,6	114,4	178,8	146,3	126,4	66,3	105,8	121,1	113

Se incluye, a título comparativo, la gráfica correspondiente a la DQO y la DBO₅ en la Figura 4. Estos valores se contrapondrán con las concentraciones registradas durante los eventos de lluvia (tanto a lo largo de los colectores como en los tanques y en los sucesos de DSU). Es importante saber si los tanques cumplen una misión de decantación además de la de control de volumen, y es importante observar las diferencias entre un DSU vertido tras su paso por un tanque o directamente desde el colector.

MADRID, RÍO MANZANARES. LOS TANQUES DE TORMENTA COMO INFRAESTRUCTURAS DE ATENUACIÓN DE LAS PRESIONES DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO UNITARIO SOBRE LAS MASAS DE AGUA.

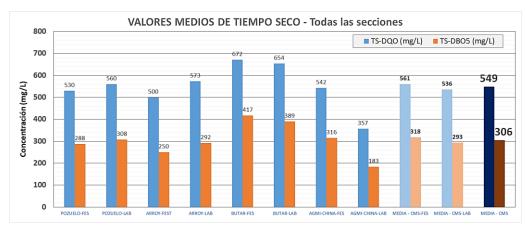


Figura 4. Valores medios de TS para todas las secciones: DQO y DBO₅.

Una vez presentados los resultados de la caracterización de los flujos de tiempo seco se pueden realizar las siguientes valoraciones:

- Las concentraciones de parámetros de contaminación convencionales definirían un agua residual urbana con concentraciones medias-altas (AGMI-CHINA medias-bajas).
- Se podría destacar una presencia de fracciones de materia orgánica alta; fracciones de volátiles altas. Agua muy biodegradable.
- Las concentraciones de sólidos en suspensión son sistemáticamente bajas o muy bajas respecto a las referencias habituales. La presencia de concentraciones bajas de sólidos en suspensión, y de todos los contaminantes a ellos asociados, indica una sedimentación elevada en los colectores durante los periodos de tiempo seco y, por lo tanto, la generación de un "almacén" de materiales a ser movilizados durante los flujos de tiempo de lluvia, lo que debería reflejarse en concentraciones altas en los valores máximos y medios de concentraciones en los flujos de cuenca de tiempo de lluvia.

A modo de resumen se incluye en la tabla siguiente los valores medios en tiempo seco para todas las secciones caracterizadas en el estudio.

Tabla 3. Valores globales de los flujos de tiempo seco caracterizados en el estudio CYII.

PARÁMETRO	VALOR MEDIO
DBO₅ (mg/L)	306
DQO (mg/L)	549
SS (mg/L)	146
N-Total	58,8
N-NH ₄ + (mg/L)	47,0
P-Total	7,4

Tabla 4. Ratios/relaciones de referencia entre contaminantes en los cuatro emplazamientos.

RELACIONES	VALOR MEDIO	Referencia
DQO/DBO ₅	1,83	2 a 3
DQOdec/DQO total	0.49	
N-NH ₄ +/Ntotal	0,81	0,6 a 0,7
SSV/SS	0,82	0,7 a 0,8



3.1.2. Resultados de la caracterización de tiempo de lluvia

CONCENTRACIONES MEDIAS DE EMPLAZAMIENTO Y VALORES GLOBALES.

Cuando se analiza un "suceso", el primer paso es obtener los hidrogramas (distribución de caudal a lo largo del tiempo) y polutogramas (concentración de contaminantes a lo largo del tiempo). El hidrograma del suceso se obtiene a partir de los registros del caudalímetro en la sección o, en algunos casos, a partir de registros de nivel y de ecuaciones hidráulicas que permiten inferir el caudal, y los polutogramas a partir de los resultados de los análisis realizados a las muestras en el laboratorio. A partir de la combinación de ambos registros es posible obtener los flujos másicos.

Una vez que se dispone de todas las características del suceso y de la caracterización de los flujos de tiempo seco, se puede proceder a "parametrizar un suceso".

La parametrización consiste en calcular una serie de indicadores (parámetros, ratios, balances, etc.) representativos del suceso con el fin de poder valorar balances de masas y calcular variables estadísticas. Los índices y las variables estadísticas calculadas caracterizan el comportamiento de la cuenca de la cuenca y de las diferentes infraestructuras, y permiten analizar posibles patrones de comportamiento de la contaminación movilizada. Estas tendencias, o patrones de comportamiento, son una información esencial para el diseño de la estrategia de gestión de las aguas de lluvia en entornos urbanos. Además, el tener los sucesos parametrizados permite realizar una integración de resultados a nivel de la cuenca y de depósito, y realizar una comparación de los mismos con los obtenidos en otras.

Hay una variedad de parámetros relevantes (concentración máxima — CMAX, concentración mínima de suceso, flujo másico o masa por unidad de tiempo, masa total en el suceso, etc.) pero quizás el más descriptivo es la concentración media de suceso (CMS), que indica cuál sería la concentración si el flujo de contaminación hubiera tenido una concentración uniforme, y que, multiplicando por el volumen total de agua movilizada, aporta la masa total. La concentración media de suceso (CMS) es menos sensible que la máxima a picos o errores puntuales en las determinaciones analíticas, ya que se obtiene promediando el valor de todas las muestras recogidas durante un evento y ponderando al caudal circulante en el momento de la toma. Al valor medio de todos los CMS de los diferentes sucesos registrados en una determinada sección o emplazamiento de denomina concentración media de emplazamiento "CME" ("site mean concentration", SMC, en la literatura anglosajona). Serán estos dos parámetros los que se comenten en este documento de síntesis. En la Figura 5 se representa la CMS, junto con un hidrograma y un polutograma, a modo de ejemplo.

Algunos de los sucesos muestreados, una vez analizadas las características hidráulicas y las muestras tomadas, se han dividido en dos eventos, que reflejan mejor los flujos de cuenca en tiempo de lluvia, si hay dos bloques de precipitación separados por un tiempo relevante.

Los análisis realizados corresponden a los siguientes parámetros fisicoquímicos: pH, Conductividad, Turbidez, ST, SST (fijos y volátiles), SDT, Ssed, DBO $_5$, N-NH $_4$ ⁺, DQO total, DQO no decantable, Fósforo total, Nitrógeno total.

MADRID, RÍO MANZANARES. LOS TANQUES DE TORMENTA COMO INFRAESTRUCTURAS DE ATENUACIÓN DE LAS PRESIONES DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO UNITARIO SOBRE LAS MASAS DE AGUA.

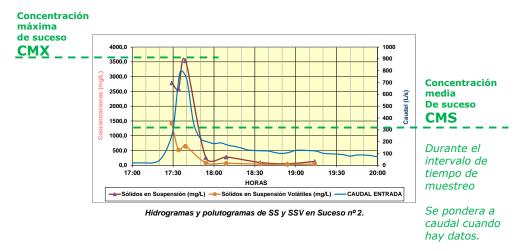


Figura 5. Hidrograma y polutograma. Parametrización: concentración máxima y concentración media de suceso (CMS).

Del análisis de la forma del hidrograma en tiempo de lluvia, y de las distribuciones de caudal y de contaminación a lo largo del día en tiempo seco, se pueden "deslindar" las masas de contaminación asociadas al tiempo seco y al evento registrado. En general, los contaminantes asociados a la fracción particulada se movilizan en mayor proporción debido al evento, mientras que los disueltos presentan una más significativa presencia del agua residual de tiempo seco. En la Tabla 5 se incluye, a título de ejemplo, el deslinde para el depósito de Arroyofresno, donde se observa que, en general, la masa de contaminación atribuible al evento, o movilizada por la lluvia, supera a la que se aporta en tiempo seco (en el caso del amonio se puede apreciar que un 60% de flujo másico se debe al agua residual de tiempo seco). En un evento de DSU se vierten ambas.

Tabla 5. Masas de contaminación atribuibles al evento de lluvia. Tanque de Arroyofresno.

	AF-TLL1a- 13092016	AF-TLL1b- 13092016	AF-TLL2- 12102016	AF-TLL3- 05112016	AF-TLL4a- 14122016	AF-TLL4b- 14122016	AF-TLLS- 27012017	AF-TLL6a- 10022017	AF-TLL6b- 10022017	VALOR MEDIO de % de suceso
	ZONA PRE- REJAS (nºm. 6)	ZONA PRE- REJAS (nºm. 5)	COLECT. (nºm. 6)	COLECT. (nºm. 0)	COLECT (nºm. 4)	COLECT (nºm. 4)	COLECT (nºm. 8)	COLECT (nºm. 3)	COLECT (nºm. 5)	
N-total	59%	23%	70%		88%	64%		31%	23%	51%
N-NH ₄ ⁺	16%		58%		84%	48%		16%	21%	40%
DQO	85%	79%	80%		93%	78%	75%	69%	20%	72%
DQO no dec.	75%	65%	77%		78%	55%	39%	47%		62%
P total	74%	43%	83%		90%	66%	47%	61%	36%	62%
DBO _u	81%	72%	81%		91%	74%	68%	67%	28%	70%
DBO ₅	78%	63%	81%		91%	76%	67%	67%	30%	69%
ST	85%	85%	81%		94%	79%	79%	63%	25%	74%
SS	94%	94%	94%		95%	84%	89%	82%	56%	86%
SSV	90%	88%	93%		95%	81%	87%	81%	55%	84%
SSF	98%	99%	99%		98%	94%	97%	90%	66%	93%
SD	74%	72%	39%		94%	77%	70%	33%		66%

MADRID, RÍO MANZANARES. LOS TANQUES DE TORMENTA COMO INFRAESTRUCTURAS DE ATENUACIÓN DE LAS PRESIONES DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO UNITARIO SOBRE LAS MASAS DE AGUA.

Durante la campaña de medición se registraron tres tipos de aguas, según su naturaleza:

- Flujos de cuenca: es el agua que circula por los colectores en tiempo de lluvia (los sistemas analizados son unitarios) y cuyos excesos de caudal respecto del tiempo seco justifican la necesidad de retención para evitar vertidos al río, ya que estos flujos exceden las capacidades de las EDAR. El nombre "flujo de cuenca" tiene sentido en algunas zonas del Norte, como Pozuelo y Arroyofresno, porque en los puntos de medida se recoge el agua de una cuenca urbana. En el resto de las ubicaciones, dada la complejidad de la red de Madrid, es imposible asignar una cuenca a los flujos, debido a que existen derivaciones, interconexiones, etc., que impiden conocer el origen real del agua. En cualquier caso, proceden de subcuencas saneadas y drenadas de aguas arriba. Reflejan flujo de colector en tiempo de lluvia. En todo caso, se trata del agua en parte sería vertida en ausencia de tanques.
- Agua interior de depósito: los depósitos de detención con las magnitudes de los de Madrid ejercen una misión de decantación adicionalmente a la de regulación. El agua clarifica en los depósitos con lo que el nivel de algunos contaminantes decrece, sobre todo en las aguas más superficiales. Este efecto es menor en aquéllos que se asocian a la fracción disuelta (como el nitrógeno amoniacal, por ejemplo) y mayor en los correspondientes a la fracción particulada (como los sólidos en suspensión y sedimentables, o la DQO, por ejemplo). Este hecho es muy importante, porque si se produce un vertido por superarse la capacidad del depósito, el agua que se vierta tendrá un nivel de contaminación inferior, en general, a la del "flujo de cuenca". En el caso de que el desbordamiento se produzca de modo previo al vertido esta ventaja no se aprovecha.
- Desbordamientos de sistemas unitarios (DSU): es el agua que se ha vertido al medio receptor. Dada la gran capacidad de los depósitos, los vertidos se dan con relativamente baja frecuencia y, en algunos casos, más por disfunciones en el sistema que por falta de capacidad. Se dispone, por tanto, de pocos datos de DSU reales, lo que es globalmente una buena señal. En el caso del aliviadero Sur, se trata de agua de final de suceso, ya que previamente ha sido derivada a los tanques de La China y Abroñigal, cuyas concentraciones deberían ser menores pero que no han sido decantadas. Los excesos desde los tanques son de agua decantada.

a) Flujo de cuenca

Se presentan, de modo sintético, los valores promedio de flujo de cuenca. En cada informe específico de tanque de tormentas y en el informe global de resultados se incluyó una parametrización más extensa, que incorporó los valores máximos y mínimos y algunas estadísticas adicionales para cada sección.

Se han analizado "flujos de cuenca" en las secciones de Abroñigal, Arroyofresno, Aliviadero Sur, Valdemarín, Butarque, Pozuelo y La China, lo que supone la totalidad de los emplazamientos analizados. En los documentos detallados que se han generado para cada emplazamiento se recoge información de cada suceso. La Tabla recoge, de modo sintético, el promedio de los CMS de todos los eventos, lo que se conoce como concentración media de emplazamiento ("site mean concentration", SMC), y algunos estadísticos a nivel global, representativo de los flujos en el sistema Manzanares de Madrid.

MADRID, RÍO MANZANARES. LOS TANQUES DE TORMENTA COMO INFRAESTRUCTURAS DE ATENUACIÓN DE LAS PRESIONES DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO UNITARIO SOBRE LAS MASAS DE AGUA.

Tabla 6 (a). Promedio de las concentraciones medias de emplazamiento (SMC) para eventos de lluvia en flujos de cuenca.

	SMC	N-total (mg/L)	N-NH ₄ + (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO sol (mg/L)	P total (mg/L)	DBO _u (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	ST (mg/L)
ABROÑIGAL	MEDIA	13,8	9,9	407	92	2,8	288	211	481
ARROYOFRESNO	MEDIA	31,2	18,2	591	162	5,6	374	256	636
ALIV. SUR	MEDIA	18,2	14,4	341	166	3,3	237	172	600
VALDEMARÍN	MEDIA	3,8	2,2	332	59	1,3	195	136	475
BUTARQUE	MEDIA	24,7	19,8	682	242	5,7	507	346	708
POZUELO	MEDIA	13,1	8,6	456	78	5,0	242	174	426
AGMI-LA CHINA	MEDIA	14,5	9,9	433	141	2,8	246	172	474
	MEDIA	18,9	12,6	485	131	4,3	310	216	540
SMC	MEDIANA	17,5	10,8	461	108	3,4	283	194	484
GLOBALES FLUJOS	MAXIMO	51,9	37,6	976	380	15,0	769	458	1054
CUENCA	МІ́NІМО	2,4	1,0	178	27	1,0	111	73	172
(todos los sucesos)	DESV.TÍP.	12,3	8,6	210	85	2,8	149	98	234
	CV	65%	68%	43%	65%	67%	48%	45%	43%

Tabla 6 (b). Promedio de las concentraciones medias de emplazamiento (SMC) para eventos de lluvia en flujos de cuenca (2).

	SMC	SS (mg/L)	SSV (mg/L)	SSF (mg/L)	SD (mg/L)	SSed (mL/L)	рН	CE (μs/cm)	TURBIDEZ (UNF)
ABROÑIGAL	MEDIA	139,4	97,7	42	342	20,9	7,1	310	99,7
ARROYOFRESNO	MEDIA	322,9	223,0	114	313	5,9	6,9	424	151
ALIV. SUR	MEDIA	148,0	91,3	57	452	3,2	6,7	466	91
VALDEMARÍN	MEDIA	272,5	189,0	83	203	5,3	7,1	283	119
BUTARQUE	MEDIA	356,7	292,7	64	352	6,5	6,7	613	435
POZUELO	MEDIA	254,3	188,6	66	172	6,0	6,9	293	125
AGMI-LA CHINA	MEDIA	316,6	200,4	116	157	5,8	7,3	340	113
	MEDIA	262	187	78	278	8,0	6,9	383	161
SMC	MEDIANA	223	153	60	228	4,8	6,9	347	122
GLOBALES FLUJOS	MAXIMO	601	514	315	838	90,0	7,5	726	1103
CUENCA	MÍNIMO	86	74	7	0	2,3	6,5	185	47
(todos los sucesos	DESV.TÍP.	141	105	65	186	15,2	0,3	135	184
	CV	54%	56%	84%	67%	190%	4%	35%	114%

b) Agua interior de depósito

Se registraron medidas de concentración en interior de depósito en los tanques de Arroyofresno (400.000 m³), La China (130.000 m³) y Pozuelo (30.000 m³), representativos de tres tamaños dentro de la variedad existente en el sistema Manzanares de Madrid. Aunque realizaron comparaciones de modo explícito, se puede apreciar como los resultados de la Tabla son, en

MADRID, RÍO MANZANARES. LOS TANQUES DE TORMENTA COMO INFRAESTRUCTURAS DE ATENUACIÓN DE LAS PRESIONES DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO UNITARIO SOBRE LAS MASAS DE AGUA.

general, superiores a sus homólogos de la Tabla 7, lo que se justifica por la decantación que se produce en los tanques, sobre todo para contaminantes no disueltos.

Tabla 7 (a). Promedio de las concentraciones medias de emplazamiento para agua interior de depósito.

	SMC	N-total (mg/L)	N-NH ₄ + (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO sol (mg/L)	P total (mg/L)	DBO _u (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	ST (mg/L)
ARROYOFRESNO	MEDIA	10,9	7,2	103	51	9,9	72	50	315
POZUELO	MEDIA	9,7	7,1	84	39	5,2	45	32	152
LA CHINA	MEDIA	20,6	16,4	178	128	2,6	95	64	487
	MEDIA	13,5	9,9	120	70	6,3	71	49	318
	MEDIANA	10,5	7,9	107	56	2,4	65	46	238
SMC GLOBALES A.I.D.	MAXIMO	23,1	19,2	249	220	33,9	154	103	651
(todos los sucesos)	MÍNIMO	6,2	4,4	43	24	1,3	27	18	120
	DESV.TÍP.	6,1	5,0	57	58	10,2	34	23	184
	cv	45%	51%	47%	82%	163%	48%	48%	58%

Tabla 7 (b). Promedio de las concentraciones medias de emplazamiento para agua interior de depósito.

	SMC	SS (mg/L)	SSV (mg/L)	SSF (mg/L)	SD (mg/L)	SSed (mL/L)	рН	CE (μs/cm)	TURBIDEZ (UNF)
ARROYOFRESNO	MEDIA	46,8	36,9	82	269	0,9	6,9	272	36
POZUELO	MEDIA	45,1	31,2	14	107	1,0	6,9	244	25
LA CHINA	MEDIA	57,3	44,8	13	430	1,4	7,0	597	31
	MEDIA	49	38	41	268	1,1	6,9	361	31
	MEDIANA	47	36	12	191	1,1	6,9	280	33
CMS GLOBALES A.I.D.	MAXIMO	78	61	301	577	1,6	7,2	744	42
(todos los sucesos)	MÍNIMO	26	18	4	47	0,5	6,7	205	13
	DESV.TÍP.	17	13	92	179	0,4	0,2	186	9
	cv	35%	35%	224%	67%	40%	3%	52%	30%

c) Desbordamientos de sistemas unitarios

La Tabla 8 recoge los principales resultados obtenidos en la caracterización de los DSU. Se registraron episodios de DSU en tres zonas: en la cámara de reparto de la M-40, previa al tanque de Valdemarín, en el Aliviadero General de la Margen derecha (AGMI) y en el Aliviadero Sur. En los dos primeros casos el agua se vierte antes de entrar en el tanque, mientras que en el último se deriva desde Abroñigal cuando se supera una consigna en el partidor previo al tanque, pero sin que el agua haya pasado por el mismo, ni exista la garantía de que está lleno. En los dos primeros casos el agua es homologable (del mismo orden de magnitud, pero no igual) a la de un flujo de cuenca y en el último también, pero tras un proceso de lavado, ya que las primeras aguas se derivan a los depósitos. Aunque se comentará con más detalle, se apreció que se trataba, en

MADRID, RÍO MANZANARES. LOS TANQUES DE TORMENTA COMO INFRAESTRUCTURAS DE ATENUACIÓN DE LAS PRESIONES DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO UNITARIO SOBRE LAS MASAS DE AGUA.

general, de agua con un alto nivel de contaminación, ya que no se aprovecha el efecto decantador de los depósitos debido a la configuración del sistema.

El vertido desde el Aliviadero Sur recoge los excesos desde la estructura de derivación de Abroñigal y la lógica del sistema impone que se derive cuando el tanque está lleno, pero también recoge excesos del sistema de la margen izquierda no gestionados en La China, haciendo difícil lo que hace difícil prever los eventos de vertido, ya que los operadores del sistema no son los mismos y no comparten sus criterios de gestión. El nivel de contaminación no es muy distinto del resto.

Tabla 8 (a). Promedio de las concentraciones medias de emplazamiento para DSU.

	SMC	N-total (mg/L)	N-NH ₄ + (mg/L)	DQO (mg/L)	DQO sol (mg/L)	P total (mg/L)	DBO _u (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	ST (mg/L)
ALIV. SUR	MEDIA	18,2	14,4	341	166	3,3	237	172	600
VALDEMARÍN	MEDIA	3,1	1,6	486	58	1,2	267	187	656
AGMI-LA CHINA	MEDIA	10,8	7,3	352	130	2,3	251	161	463
	MEDIA	10,7	7,7	387	119	2,3	252	171	557
	MEDIANA	9,3	6,2	253	66	2,1	168	140	612
CMS	MAXIMO	23,2	22,6	730	303	4,5	545	355	881
GLOBALES DSU (todos los sucesos)	MÍNIMO	2,0	1,5	74	24	1,1	61	43	290
,	DESV.TÍP.	7,8	7,6	260	101	1,3	169	112	237
	cv	73%	98%	67%	85%	57%	67%	65%	43%

Tabla 8 (b). Promedio de las concentraciones medias de emplazamiento para DSU.

	SMC	SS (mg/L)	SSV (mg/L)	SSF (mg/L)	SD (mg/L)	SSed (mL/L)	рН	CE (μs/cm)	TURBIDEZ (UNF)
ALIV. SUR	MEDIA	148,0	91,3	57	452	3,2	6,7	466	91
VALDEMARÍN	MEDIA	425,9	332,1	94	231	7,5	7,0	287	138
AGMI-LA CHINA	MEDIA	301,4	197,1	104	161	5,9	7,1	331	127
	MEDIA	293	205	88	264	5,6	6,9	357	120
	MEDIANA	267	179	86	209	3,9	6,8	346	99
CMS	MAXIMO	538	463	158	758	10,8	7,5	641	224
GLOBALES DSU (todos los sucesos)	MÍNIMO	123	74	27	23	2,4	6,5	228	78
,	DESV.TÍP.	168	146	40	235	3,5	0,4	138	57
	CV	57%	71%	46%	89%	62%	5%	39%	47%

DISTRIBUCIÓN DE LAS CMS REGISTRADAS. ANÁLISIS GRÁFICOS

No se incluyen en esta comunicación los valores numéricos de las variables registradas en todos los eventos, pero se incluyen, a título de ejemplo, algunos análisis realizados que permiten comparar la contaminación registrada en los distintos emplazamientos. Para ello se utilizan dos tipos de formato gráfico.

MADRID, RÍO MANZANARES. LOS TANQUES DE TORMENTA COMO INFRAESTRUCTURAS DE ATENUACIÓN DE LAS PRESIONES DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO UNITARIO SOBRE LAS MASAS DE AGUA.

Las gráficas de distribución de la contaminación presentan los datos registrados en cada emplazamiento para cada suceso (en esta sección se incide en CMS, pero en los informes de detalle se incluyeron otros parámetros, como la concentración máxima o la mínima).

Se presentan en gráficos correspondientes a una distribución de probabilidad log-normal, que es la que da un mejor ajuste (los datos tienden a ubicarse de un modo lineal). Además de los datos se presentan las líneas correspondientes al ajuste. Cada símbolo corresponde a una ubicación, y cada punto a un valor (CMS de un evento). En las gráficas se puede, por tanto, ver la variabilidad en las concentraciones de los eventos, y las diferencias entre unas y otras ubicaciones. Los valores correspondientes al percentil 50 corresponden con la mediana. El ajuste global (todos los eventos de todas de las secciones) corresponde a los símbolos de color negro.

En la Figura 6 se presentan los datos correspondientes a la DQO. Se observa que los mayores valores corresponden a los flujos en Butarque. Cabe indicar que el colector de la margen derecha actúa en tiempo seco como un decantador dado su gran tamaño, con lo que las concentraciones en los primeros momentos de cada evento son muy altas. Las aguas menos contaminadas (no es tan nítido) son las del Aliviadero Sur, que recoge excesos no gestionados en infraestructuras previas, lo que justifica que su nivel de contaminación sea algo menor. También Valdemarín presenta valores bajos, porque el nivel de urbanización de su cuenca es menor.

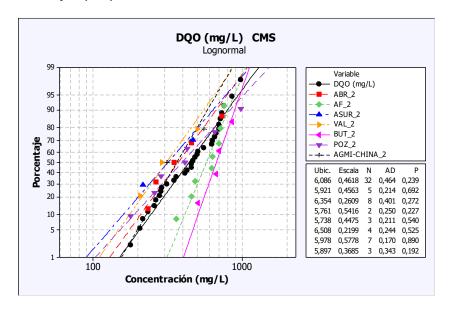


Figura 6. Datos de la CMS por ubicación y agregados, para todos los flujos de cuenca. Ajustes a una distribución log-normal.

De un modo más compacto se puede analizar la misma información en un diagrama de barras y bigotes, como el que se presenta en la Figura 7, que incluye en valores numéricos el promedio (consistente con los valores recogidos en la Tabla) y en modo gráfico los valores máximo y mínimo así como los cuartiles del 25%, del 50% (la mediana) y del 75%. Se incluye en color naranja el promedio de todos los emplazamientos (SMC).

Como se ha comentado en los párrafos anteriores, se aprecia que Butarque presenta las mayores concentraciones, dentro de una tónica razonablemente homogénea.



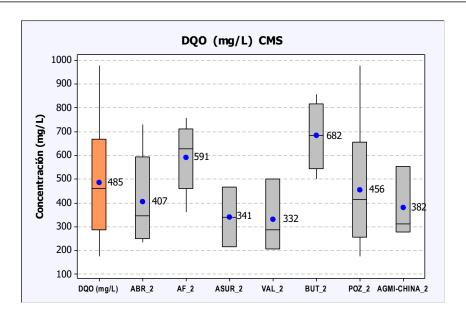


Figura 7. Distribución de la contaminación de los flujos de cuenca. Diagrama de barras y bigotes para la CMS de DQO.

COMPARACIÓN DE LOS VALORES RELATIVOS A DISTINTOS TIPOS DE AGUA

A lo largo del texto se han ido comentando, a nivel cualitativo, las diferencias observadas entre las concentraciones de los distintos "tipos de agua", y un esbozo de su justificación. A nivel cuantitativo, para algunos contaminantes, se pueden observar esas diferencias en las gráficas que comparan los valores globales de flujos de cuenca, de agua interior de tanque y de DSU. Se recogen en la Figura 8 los valores correspondientes a la concentración máxima registrada en cada suceso, que es un estadístico muy sensible a singularidades.

De hecho, se observa en la figura siguiente, que corresponde a concentraciones de DQO, como en el flujo de cuenca hay un valor (extraído de las estadísticas como valor discordante o "outlier") que corresponde a Butarque y que es fruto de la resuspensión de la contaminación en los primeros periodos de los eventos registrados.

En todo caso, se observa cómo los valores de la concentración máxima pueden ser del orden del doble de la CMS, si se comparan los valores de la Figura 8 con los de la Figura 9, que presenta la CMS e incluye también los valores de las concentraciones de tiempo seco ("cuatro aguas"), que como se aprecia son sensiblemente iguales a las de los flujos de cuenca, lo que significa, en valores medios, que el agua que se gestiona en los eventos de lluvia tiene características similares al agua residual, ya que la dilución se compensa con la resuspensión en los colectores.



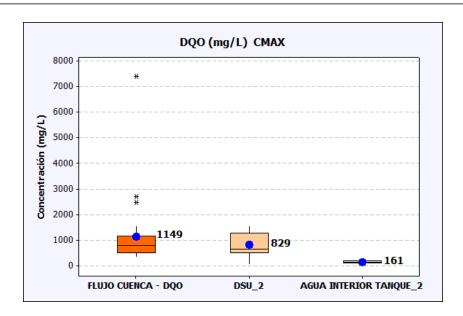


Figura 8. Comparación entre distintos tipos de agua. Concentraciones máximas de suceso para la DQO.

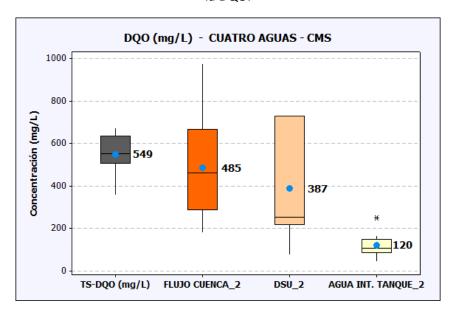


Figura 9. Comparación entre distintos tipos de agua, incluyendo el tiempo seco. CMS para la DQO.

En las gráficas siguientes se presentan las comparaciones para contaminantes como la DBO $_5$ y los sólidos en suspensión, que son sensibles a la decantación, y en los que se observa (Figura 11) como el agua en el tanque tiene una concentración menor que el resto, mientras que las aguas de tiempo seco, de cuenca y de DSU son de concentraciones homologables.



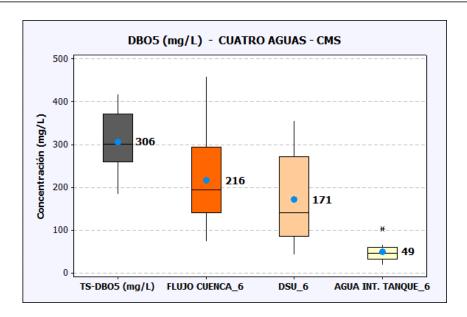


Figura 10. Comparación entre distintos tipos de agua, DBO₅.

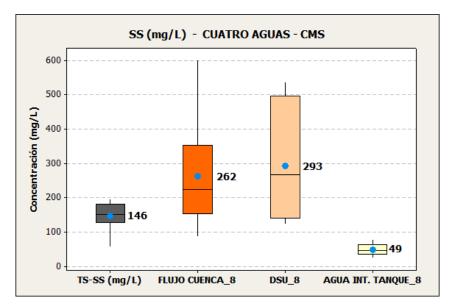


Figura 11. Comparación entre distintos tipos de agua, sólidos en suspensión.

En las figuras 8, 9 y 11 se puede apreciar cómo, en ocasiones, los valores de DSU son peores que los de los flujos de cuenca. En Figura 11 se aprecian los muy bajos valores obtenidos en la caracterización de aguas residuales de tiempo seco.

Para otras sustancias, como el nitrógeno y el fósforo, o parámetros como la conductividad que se asocian a contaminación disuelta, la resuspensión de los sólidos en los colectores no afecta de igual medida y se aprecia que la concentración de tiempo seco es superior a la de cuenca (predomina la dilución) y que la residencia en el tanque apenas reduce la concentración.

MADRID, RÍO MANZANARES. LOS TANQUES DE TORMENTA COMO INFRAESTRUCTURAS DE ATENUACIÓN DE LAS PRESIONES DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO UNITARIO SOBRE LAS MASAS DE AGUA.

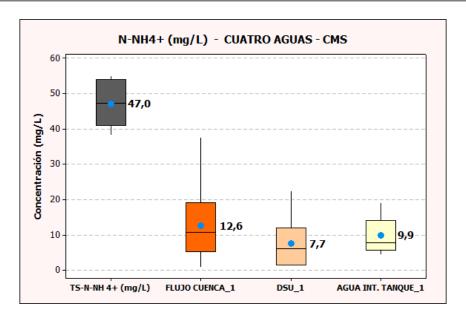


Figura 12. Comparación entre distintos tipos de agua, nitrógeno total.

Incluso pueden apreciarse repuntes, como en el caso del nitrógeno amoniacal, probablemente debido a una falta de limpieza en los tanques tras los eventos que genera una redisolución. Este fenómeno, en todo caso, requiere un análisis detallado. Los valores globales de conductividad en el interior de los depósitos vienen a reforzar la sospecha de este tipo de fenómenos.

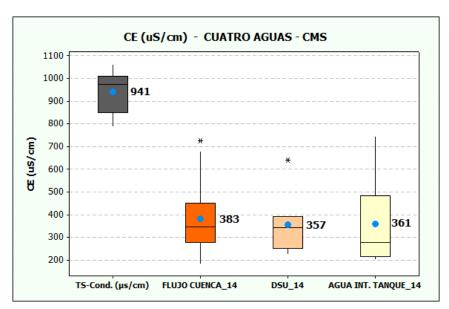


Figura 13. Comparación entre distintos tipos de agua, conductividad.

Los rendimientos en la reducción de contaminación para todos los contaminantes y cada uno de los tanques se incluyeron en los informes relativos a cada infraestructura. A modo de ejemplo, se incluye en la Tabla 9 el resumen de rendimientos del tanque de Arroyofresno, donde se aprecian las diferencias entre los diversos contaminantes ya comentada.

MADRID, RÍO MANZANARES. LOS TANQUES DE TORMENTA COMO INFRAESTRUCTURAS DE ATENUACIÓN DE LAS PRESIONES DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO UNITARIO SOBRE LAS MASAS DE AGUA.

Se observa, para un tanque de enormes dimensiones, como se logran atenuaciones por encima del 80% para los contaminantes "decantables" y una reducción significativa pero menor para el nitrógeno amoniacal. Es destacable que los valores registrados no son muy distintos de los máximos tolerables para el efluente de una EDAR convencional, con lo que el vertido de un DSU de agua previamente decantada en un tanque es claramente mejor que el vertido de agua que no ha "reposado".

En el caso de los picos máximos de concentración la atenuación es incluso algo superior, ya que se laminan las singularidades.

Tabla 9. Rendimiento en "atenuación" de contaminación. Tanque de Arroyofresno (con ajuste de valores fósforo).

TANQUE DE ARROYOFRESNO	DQO (mg/L)	DBO₅ (mg/L)	SS (mg/L)	N-NH ₄ + (mg/L)	N-total (mg/L)	P-total (mg/L)
SMC - FLUJOS DE ENTRADA	591	256	323	18,2	31,2	5,6
CMS "CÁMARA 1 DEL TANQUE"	103	50	47	7,2	10,9	1,9
RESPECTO A CMS MEDIDA	83%	80%	85%	60%	65%	66%
Media CMAX - FLUJOS DE ENTRADA	966	468	448	33,1	53,6	13,5
CMAX "CÁMARA 1 DEL TANQUE"	164	84	67	10,6	14,3	3,0
RESPECTO A CMAX MEDIDA	83%	82%	85%	68%	73%	78%

En las figuras 14 y 15 se presentan de forma gráfica los resultados de atenuación obtenidos en todos los depósitos analizados en que se caracterizó el agua almacenada en su interior.

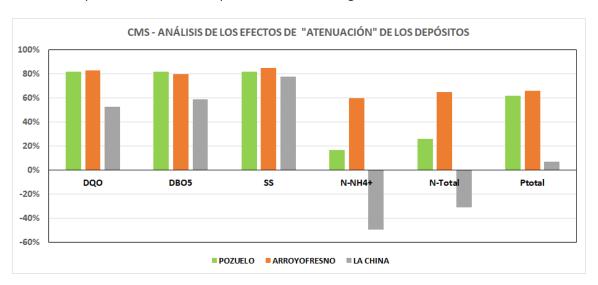


Figura 14. Comparación de la "atenuación" sobre los valores de CMS en los depósitos en el supuesto de que el vertido se realizase desde las cámaras interiores en las que se muestreó.

MADRID, RÍO MANZANARES. LOS TANQUES DE TORMENTA COMO INFRAESTRUCTURAS DE ATENUACIÓN DE LAS PRESIONES DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO UNITARIO SOBRE LAS MASAS DE AGUA.

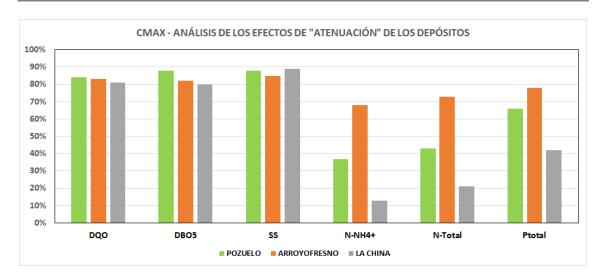


Figura 15. Comparación de la "atenuación" sobre los valores de CMAX en los depósitos en el supuesto de que el vertido se realizase desde las cámaras interiores en las que se muestreó.

El efecto que producen los depósitos también se aprecia si se comparan los valores de todas las muestras tomadas durante las campañas de tiempo seco y en tiempo de lluvia (tanto de agua de flujo de cuenca como de agua interior de depósito). Se tomaron un total de 48 muestras de tiempo seco, 46 muestras de agua interior de depósito y 152 muestras de flujo de cuenca en tiempo de lluvia, en los diferentes sucesos caracterizados. Si bien se trata de muestras tomadas en circunstancias muy diferentes los rangos de valores y las proporciones entre parámetros de contaminación aportan información de interés.

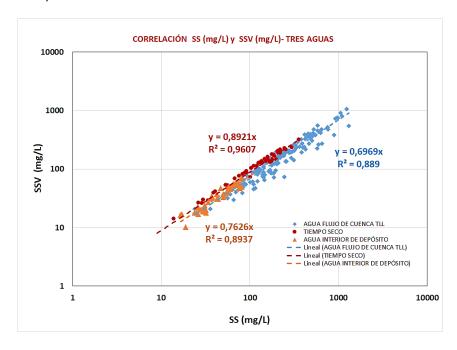


Figura 16. Análisis de la relación entre sólidos en suspensión y sólidos en suspensión volátiles en "tres aguas".

MADRID, RÍO MANZANARES. LOS TANQUES DE TORMENTA COMO INFRAESTRUCTURAS DE ATENUACIÓN DE LAS PRESIONES DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO UNITARIO SOBRE LAS MASAS DE AGUA.

En la figura anterior se aprecian claramente las "regiones" de cada tipo de agua. Los valores de SS se sitúan por debajo de los 100 mg/L. El agua de flujo de cuenca en tiempo de lluvia es ligeramente más inorgánica (pendiente 0,69) que el agua de tiempo seco (pendiente de 0,89). La proporción de materia volátil del agua interior de los depósitos es muy similar a la de tiempo de lluvia (0,89).

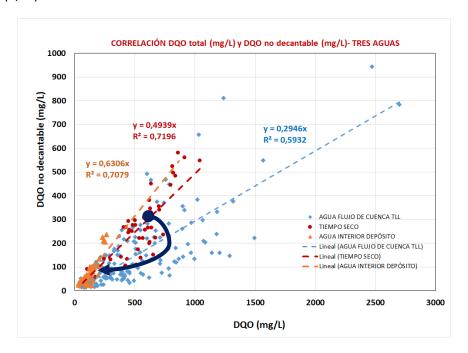


Figura 17. Análisis de la relación entre DQO y DQO no decantable en "tres aguas".

En la figura anterior se aprecian, de nuevo, tres regiones. Son de interés las pendientes y los rangos entre los que se mueven las concentraciones de los dos parámetros. El agua de flujo de cuenca presenta una alta dispersión, variedad mayor de "aguas", los cual es lógico al tratarse de valores de diferentes cuencas y de diferentes momentos del polutograma. Sin embargo, los valores de agua "interior de depósito" se sitúan por debajo de los 250 mg/L de DQO, una DQO mucho menos decantable que la del agua de tiempo seco o de los flujos de cuenca. La DQO del flujo de cuenca es incluso menos decantable que la de tiempo seco.

En la figura siguiente se muestra la relación entre nitrógeno total (formas disueltas y particuladas) y el nitrógeno amoniacal (solo forma disuelta). En este caso la posición de las tres regiones es diferente. La parte alta la ocupa el agua de tiempo seco, la sigue, con un amplio rango, el agua de flujo de cuenca, y en la parte más baja aparece el agua "interior de depósito". Durante los sucesos de lluvia la aportación de nitrógeno amoniacal desde biopelículas y sedimentos es limitada y se produce una relativa dilución. En el depósito, los fenómenos de mezcla y sedimentación deberían cambiar las proporciones entre formas del nitrógeno: esta información nos la proporciona la pendiente de las rectas de regresión. El agua interior del depósito presenta una pendiente mayor que la de los flujos de cuenca (0,75 y 0,68, respectivamente; pasa a dominar más el nitrógeno amoniacal. Este aumento se puede producir por los fenómenos de hidrólisis y amonificación, y por la aportación de los licores y sedimentos que han quedado en el fondo de los depósitos por las dificultades en la extracción de los mismos. La mayor pendiente la tiene la recta de regresión de tiempo seco, que es donde el nitrógeno amoniacal tiene mucho peso.

MADRID, RÍO MANZANARES. LOS TANQUES DE TORMENTA COMO INFRAESTRUCTURAS DE ATENUACIÓN DE LAS PRESIONES DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO UNITARIO SOBRE LAS MASAS DE AGUA.

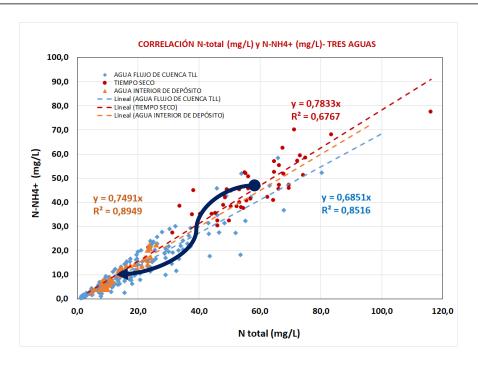


Figura 18. Análisis de la relación entre N-total y el N-NH₄⁺D en "tres aguas".

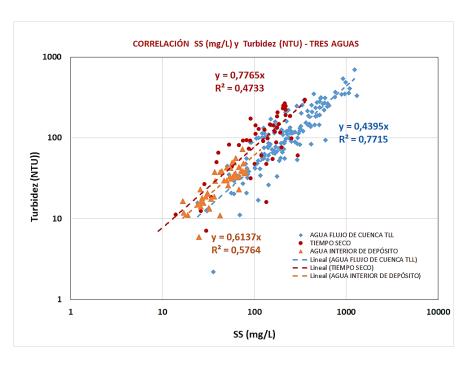


Figura 19. Análisis de la relación entre SS y la Turbidez en "tres aguas".

En la figura anterior se presentan las correlaciones de cada tipo de agua entre SS y turbidez. El mejor ajuste se produce con los flujos de cuenca, en donde la turbidez generada por partículas de tamaño significativo es dominante. En las otras aguas los coloides juegan un papel más importante en la turbidez.



La medición con turbidez podría ser un indicador (no perfecto) de la calidad del agua que se vertería desde un posible aliviadero en depósito. Sí que sería un buen indicador para los vertidos desde aliviadero.

3.2. Comparación de los resultados de caracterización con otros homologables en el territorio español

3.2.1. Comparación de los resultados obtenidos en la caracterización de los "flujos de cuenca"

El último de los análisis comparativos que se presentan es el de la globalidad de las analíticas del sistema Manzanares respecto de otras campañas realizadas y recopiladas por el grupo GEAMA de la Universidade da Coruña, que incluye datos del proyecto PROMEDSU, promovido por el Ministerio, del proyecto SOSTAQUA, en colaboración con el grupo SUEZ, de la iniciativa para elaborar criterios de diseño para tanques de tormenta, promovido por el Ministerio, y trabajos puntuales en diversas ciudades españolas.

En la Figura 20 se presenta la comparación para la DQO y la DBO₅. En general los valores de contaminación observados son similares, algo inferiores en el caso del sistema Manzanares

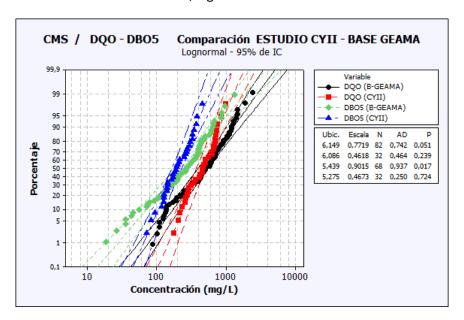


Figura 20. Comparación de la distribución de CMS de DQO y DBO5 del presente proyecto y de la base GEAMA.

Esta uniformidad entre los valores de la base generada en este estudio y la global se da en la mayoría de los contaminantes, como se aprecia en la Figura 21, en la que se muestran las concentraciones de nitrógeno y amonio, donde de nuevo se observan concentraciones algo menores en el sistema Manzanares, siendo algo discordante el valor correspondiente a los sólidos en suspensión, que ofrece valores muy inferiores, como se aprecia en la Figura 22. Esto se ha venido observando en todos los emplazamientos, por lo que no cabe hablar de una

MADRID, RÍO MANZANARES. LOS TANQUES DE TORMENTA COMO INFRAESTRUCTURAS DE ATENUACIÓN DE LAS PRESIONES DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO UNITARIO SOBRE LAS MASAS DE AGUA.

singularidad. Se desconoce el motivo que justifica que los niveles de sólidos sean inferiores al de otras ciudades (y mucho más volátiles), aunque cabe considerar factores como la frecuencia en el lavado de las calles o la compacidad urbana, sin espacios generadores de sólidos, y las dimensiones de los colectores, que favorecerían los fenómenos de sedimentación.

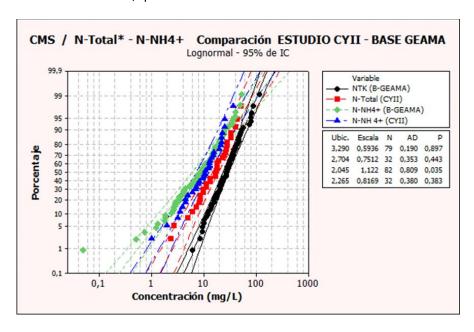


Figura 21. Comparación entre la base CYII y la base GEAMA para N total y N amoniacal.

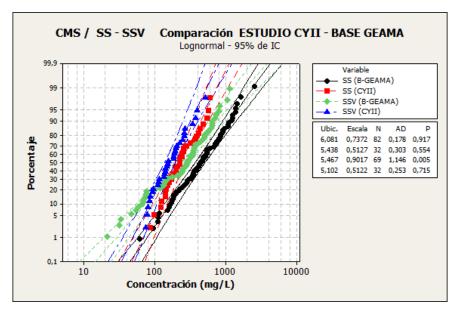


Figura 22. Comparación entre la base CYII y la base GEAMA para SS y SSV.

MADRID, RÍO MANZANARES. LOS TANQUES DE TORMENTA COMO INFRAESTRUCTURAS DE ATENUACIÓN DE LAS PRESIONES DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO UNITARIO SOBRE LAS MASAS DE AGUA.

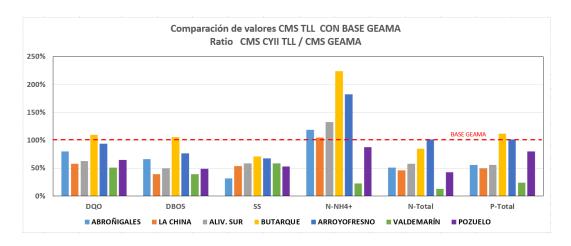


Figura 23. Comparación relativa de valores de CMS FLUJOS DE CUENCA con los valores de la BASE GEAMA.

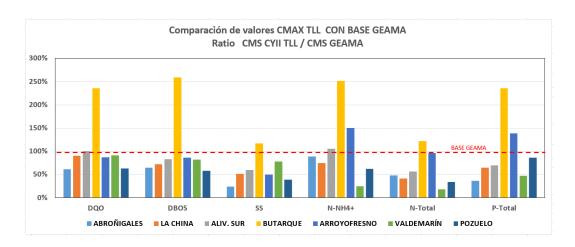


Figura 24.-Comparación relativa de valores de CMAX FLUJOS DE CUENCA con los valores de la BASE GEAMA.

3.2.1. Comparación de los resultados obtenidos en el efecto de "atenuación" de los depósitos

Durante los años 2013 y 2014 el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, a través de su Dirección General del Agua, desarrolló un estudio denominado "IDENTIFICACIÓN, EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LOS TANQUES DE TORMENTA Y REDACCIÓN DE UN MANUAL DE RECOMENDACIONES PARA SU DISEÑO". En la Figura 25 se comparan los valores obtenidos en este estudio y en el patrocinado por el Ministerio.

MADRID, RÍO MANZANARES. LOS TANQUES DE TORMENTA COMO INFRAESTRUCTURAS DE ATENUACIÓN DE LAS PRESIONES DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO UNITARIO SOBRE LAS MASAS DE AGUA.

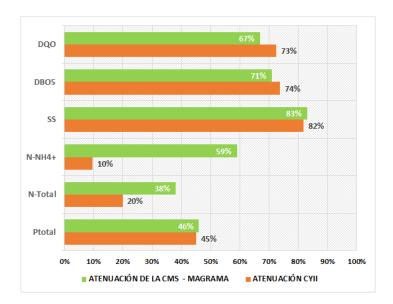


Figura 25. Comparación de los porcentajes globales de atenuación de la CMS de contaminantes registrados en el estudio del CYII y del estudio MAGRAMA.

La gráfica muestra que los resultados de atenuación obtenidos en este estudio son algo mayores que los obtenidos en el estudio MAGRAMA en DQO (73%) y en DBO5 (74%); en sólidos en suspensión son algo menores (82%), mientras que en los nutrientes la atenuación es mucho menor en nitrógeno total, y sobre todo en nitrógeno amoniacal. Los valores obtenidos en fósforo son casi coincidentes.

En el estudio del MAGRAMA no se estudiaron tanques de tormenta tan grandes como los estudiados en esta ocasión, y los intervalos de muestreo en el agua interior fueron de periodos más cortos. Además, en ellos el agua se renovaba en ellos al haber un aliviadero de DSU fluyendo en él, renovando parte del agua existente.

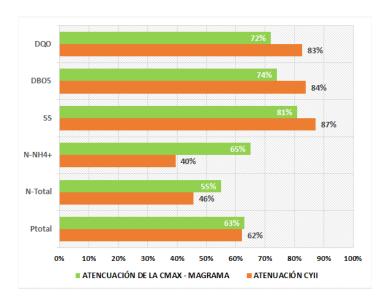


Figura 26. Comparación de los porcentajes globales de atenuación de la CMAX de contaminantes registrados en el estudio del CYII y del estudio MAGRAMA.

MADRID, RÍO MANZANARES. LOS TANQUES DE TORMENTA COMO INFRAESTRUCTURAS DE ATENUACIÓN DE LAS PRESIONES DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO UNITARIO SOBRE LAS MASAS DE AGUA.

La gráfica muestra que los resultados de atenuación obtenidos en este estudio son mayores que los obtenidos en el estudio MAGRAMA en DQO (83%), DBO5 (84%) y SS (87%), unos diez puntos por encima. Son depósitos muy grandes, con una gran capacidad de detención de agua, y la toma de muestras se ha realizado con un agua estática, con el depósito ya casi lleno.

La atenuación en los nutrientes es mucho menor en nitrógeno total, y sobre todo en nitrógeno amoniacal, al igual que ocurría con las CMS, cuestión que se justifica al tratarse de una forma disuelta y por el gran volumen de los depósitos. Los valores obtenidos en fósforo son similares.

4. CONCLUSIONES

A continuación, se presentan algunas de las conclusiones más relevantes vinculadas a los flujos de contaminación en tiempo de lluvia y al efecto de los tanques de tormenta.

Se presentan, a modo de síntesis final, los valores de los parámetros de contaminación más significativos tanto en tiempo seco, como de flujo de cuenca, como de interior de depósito.

PARÁMETRO	VALOR MEDIO TIEMPO SECO	FLUJO DE CUENCA TLL CMS	FLUJO DE CUENCA TLL CMAX	CMS-AGUA INTERIOR DEPÓSITO	CMAX-AGUA INTERIOR DEPÓSITO
DBO ₅ (mg/L)	306	216	577	49	70
DQO (mg/L)	549	485	1149	120	161
DQOsol (mg/L)	260	131	305	70	91
SS (mg/L)	146	262	658	49	63
N-Total (mg/L)	58,8	18,7	35,7	13,5	16,1
N-NH ₄ + (mg/L)	47	12,6	24,8	9,9	12,4
P-Total (mg/L)	7,4	4,3	11,1	6,3	12

Tabla 10. Resumen final de valores obtenidos en "tres tipos de aguas".

Del análisis de esta caracterización en tiempo seco se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- En general, las concentraciones en tiempo seco son comparables a un agua residual convencional, con valores promedio ligeramente por debajo de lo usual, sin diferencias demasiado relevantes.
- Se podría destacar una presencia de fracciones de materia orgánica alta, con fracciones de volátiles altas, y como resultado en un agua muy biodegradable.
- Por otra parte, las concentraciones de sólidos en suspensión son sistemáticamente bajas respecto a las referencias habituales. La presencia de concentraciones bajas de sólidos en suspensión, y de todos los contaminantes a ellos asociados, indica una sedimentación elevada en los colectores durante los periodos de tiempo seco y, por lo tanto, la generación de una fuente de materiales que pueden ser resuspendidos durante los episodios de lluvia.

MADRID, RÍO MANZANARES. LOS TANQUES DE TORMENTA COMO INFRAESTRUCTURAS DE ATENUACIÓN DE LAS PRESIONES DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO UNITARIO SOBRE LAS MASAS DE AGUA.

Del análisis de la caracterización en tiempo de lluvia se han extraído las siguientes conclusiones:

- Durante los sucesos de lluvia se transporta la contaminación que se genera en tiempo seco más un excedente que proviene de la cuenca y, sobre todo, de la resuspensión en los colectores y otros elementos del sistema.
- En general, las concentraciones medias del agua en los colectores en tiempo de lluvia son similares a la de tiempo seco, si se promedia la concentración a lo largo de todo el suceso de lluvia (CMS). Sin embargo, existen algunas diferencias entre los puntos de muestreo analizados. Por ejemplo, las concentraciones de DBO₅ y DQO son en general homologables a las recogidas en la base de datos GEAMA, aunque ligeramente más bajas. Los SS son siempre significativamente más bajos (aproximadamente un 20%-30% en promedio) en todas las secciones de control, con excepción del sistema AGMI-China, donde las CMS de SS triplican los valores de tiempo seco. En el caso de contaminantes disueltos, como el nitrógeno, las CMS son algo menores que los valores de referencia.
- Las concentraciones de DSU son, en general, similares a las del agua que circula por los colectores, "flujo de cuenca", (en algunos casos superiores) porque el diseño de la red genera DSU desde los colectores, y no desde los tanques, como norma general. Este hecho hace que se pierda una importante capacidad de atenuación de los tanques.
- En tiempo de lluvia las concentraciones de contaminantes en el agua detenida en los tanques son, en general, muy inferiores a la del agua circulante por los colectores, lo que evidencia el efecto de mezcla y decantación de los mismos. Las tasas de eliminación son del orden del 80% para contaminantes asociados a la fracción particulada (sólidos, DBO, DQO) y del orden del 40-50% para contaminantes disueltos (nutrientes, por ejemplo).
- La comparación de la atenuación de las CMS del sistema Manzanares con los resultados del estudio del MAGRAMA de 2014 permite comprobar que el funcionamiento global de los tanques del Canal de Isabel II analizados es ligeramente superior en términos de atenuación de la fracción particulada (SS, DBO₅, DQO), debido a su gran tamaño. Sin embargo, los rendimientos obtenidos para la reducción de las CMS de las fracciones disueltas (fases de nitrógeno y fósforo) son inferiores, y están lastrados por los procesos de liberación de nutrientes que se producen en el sistema de la China-AGMI (liberación de nitrógeno), y en Arroyofresno y Pozuelo (vinculados al fósforo, aunque en mucha menor medida).
- La atenuación de las puntas de concentraciones máximas es superior para todos los contaminantes en el sistema de Manzanares que en los registros del MAGRAMA, debido al mayor tamaño de los tanques que funcionan como depósitos decantadores.

Por último, se puede señalar que el diseño de las derivaciones y conductos de los tanques, así como su gestión y mantenimiento, lleva a que se produzcan DSU sin agotar su capacidad de almacenamiento. Una modificación de las estrategias de gestión mejoraría el funcionamiento en el entorno del AGMI, del aliviadero Sur y sobre todo de la cámara M-40, en el sistema Valdemarín.

El análisis cuantitativo de masas y caudales vertidos a lo largo de un periodo prolongado no fue el objeto de estudio, ya que se realizaron mediciones durante periodos disjuntos en los distintos tanques. Un modelo global de la red primaria aportará esa información. No obstante, existe la percepción apoyada en los datos obtenidos de que el volumen global de retención instalado logra un muy importante control de los DSU, aunque una gestión más integrada del sistema y

MADRID, RÍO MANZANARES. LOS TANQUES DE TORMENTA COMO INFRAESTRUCTURAS DE ATENUACIÓN DE LAS PRESIONES DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO UNITARIO SOBRE LAS MASAS DE AGUA.

algunas mejoras puntuales podrían incrementar de forma significativa el rendimiento global de las infraestructuras.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Anta, J; Bermúdez, M.; Cea, L.; Suárez, J.; Ures, P.; Puertas, J. (2015); "Modelización de los impactos por DSU en el río Miño (Lugo)"; Ingeniería del agua; Fundación para el Fomento de la Ingeniería del Agua; ISSN: 1134-2196, Valencia.
- [2] Barro, J.R.; Comas, P.; Malgrat, P.; Suárez, J.; Anta, J.; Puertas, J. (2015); "Caracterización de los desbordamientos de sistemas unitarios desde tanques de tormenta y análisis de su eficiencia"; "XXXIII Jornadas de la Asociación Española de Abastecimiento y Saneamiento AEAS"; 28 a 30 de abril de 2015; Lugar: Burgos (España); Publicación de ponencias: pag 81-92 (publicación en CD, 564 páginas).
- [3] Canal de Isabel II, S.A. I+D+i Department (2019); Informe final del "Contrato para la implantación de un sistema avanzado para la operación del Sistema Manzanares", contrato Nº: 284/2014.
- [4] CEDEX (2008); "Gestión de las aguas pluviales. implicaciones en el diseño de los sistemas de saneamiento y drenaje urbano"; Editores: Puertas, J.; Suárez, J.; Anta, J.; 600 pgs.; Centro de Publicaciones. Ministerio de Fomento; España; ISBN: 978-84-7790-475-5.
- [5] Lastra, A., Pinilla, A., Malgrat, P., Falcó X., Sunyer, D., Abella, J., Suárez, J., Puertas, J., Anta, J., Regueiro-Picallo, M., Recarey, M., Fernández, I. (2017); "Metodología de caracterización del funcionamiento y eficacia de los tanques anti-DSU del sistema de saneamiento del Manzanares (Madrid)"; Libro de Resúmenes de las V JORNADAS DE INGENIERÍA DEL AGUA. Entornos fluviales y aguas de transición: impactos de los medios urbanos; ISBN: 978-84-9749-670-4; editores: Puertas, J.; Anta, J.; Bermúdez, M.
- [6] Lastra A., Suárez J., Puertas J., Anta J., Falcó X., Ortega M., Pinilla A. (2018); "Development of a smart system for the operation of a complex sanitation system"; Green Energy and Technology. Springer, Cham. pp 207-212; Print ISBN 978-3-319-99866-4 Mannina G. (eds) New Trends in Urban Drainage Modelling Online ISBN 978-3-319-99867-1; doi.org/10.1007/978-3-319-99867-1 34.
- [7] Lastra, A., Ortega, M.; Suárez, J.; Anta, J., Puertas, J. (2019); "Parameterising of the diffuse pollution in a continental mediterranean city"; 19th International Conference on Diffuse Pollution; IWA, Korean Society on Water Environment, Center for Advanced Urban GI&LID; 27 a 31 de octubre de 2019; Jeju, Korea del Sur.
- [8] MAGRAMA (2014), "Manual nacional de recomendaciones para el diseño de tanques de tormenta". Equipo de redacción: Aqualogy: Comas, P.; Falcó, X.; García, J.; Malgrat, P.; Sunyer, D.; Villanueva, A. GEAMA-UdC: Anta, J.; Puertas, J.; Suárez, J. Septiembre de 2014. 181 pags. Editor: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Gobierno de España.

MADRID, RÍO MANZANARES. LOS TANQUES DE TORMENTA COMO INFRAESTRUCTURAS DE ATENUACIÓN DE LAS PRESIONES DE LOS SISTEMAS DE SANEAMIENTO UNITARIO SOBRE LAS MASAS DE AGUA.

- [9] Suárez, J., Puertas, J. (2005); "Determination of COD, BOD, and suspended solids loads during CSO events in some combined cathments in Spain"; Ecological Engineering. Vol. 24, Pags. 199-217. Elsevier.
- [10] Suárez, J.; Lastra, A.; Ortega, M.; Puertas, J.; Anta, J.; Falcó, X. (2019); "Abnormal behaviour in the emission of nitrogen and phosphorus in CSOs from large stormwater tanks"; 19th International Conference on Diffuse Pollution; IWA, Korean Society on Water Environment, Center for Advanced Urban GI&LID; 27 a 31 de octubre de 2019; Jeju, Korea del Sur.