

Estudio sobre la contaminación de las aguas del río Tajo a su paso por Toledo y posibles causas de la generación de espumas

Resumen ejecutivo

Mayo de 2024

Beatriz Martín, Raúl Urquiaga, Beatriz Larraz e Irene Bernal





Estudio sobre la contaminación de las aguas del río Tajo a su paso por Toledo (España) y posibles causas de la generación de espumas

Resumen ejecutivo

Mayo de 2024

Beatriz Martín^{1,2}, Raúl Urquiaga^{1,3}, Beatriz Larráz^{1,3} e Irene Bernal^{1,3}

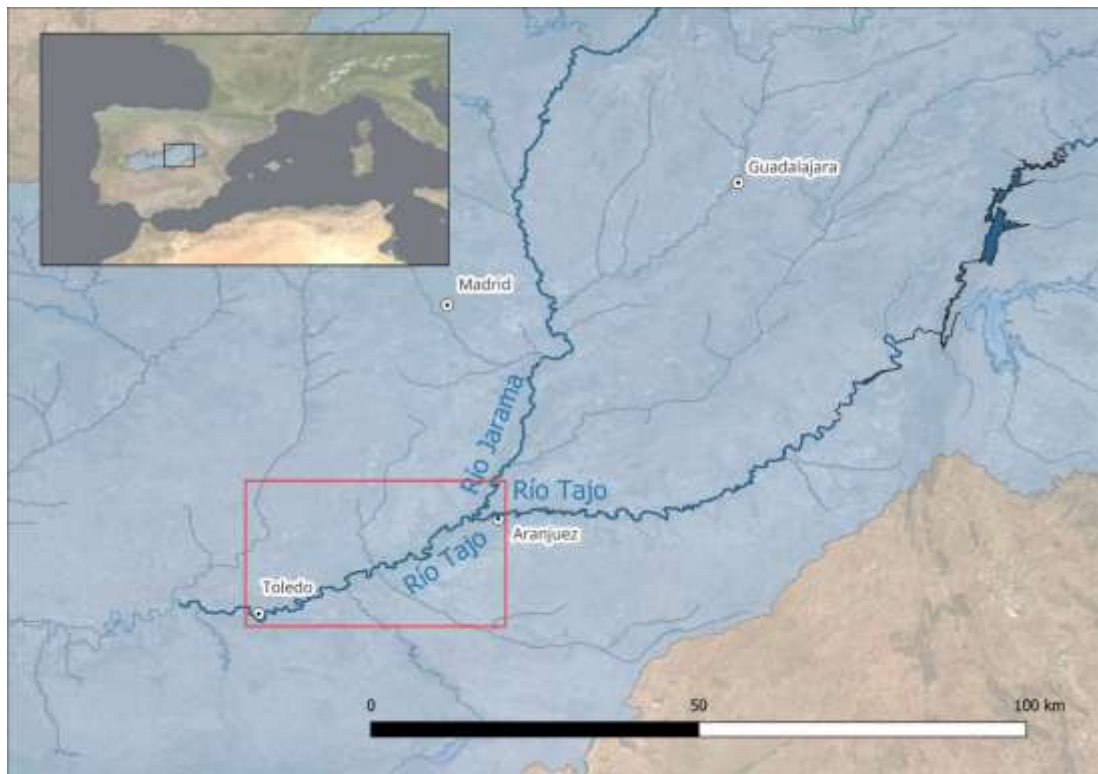
¹Cátedra del Tajo UCLM-Soliss; ² Universidad Alfonso X El Sabio; ³ Universidad de Castilla-La Mancha

1. Objeto y ámbito

El objetivo de este trabajo es avanzar en la determinación del origen de las espumas presentes en el río Tajo a su paso por la ciudad de Toledo con el fin de contribuir a la mejora del conocimiento para la búsqueda de soluciones. Esta realidad puede interpretarse como una oportunidad de contribuir a la literatura a través de este caso de estudio, siendo el fin último la desaparición de aquellas condiciones que son causantes de las citadas espumas.

Con el fin de conseguir este objetivo, en primer lugar, se ha llevado a cabo un análisis del grado de contaminación del río en su tramo medio a partir de los datos oficiales disponibles. Para ello se parte desde la confluencia con el río Jarama, al ser la principal entrada de aguas residuales. A continuación, se ha realizado un análisis detallado durante los episodios de espumas, con el fin de detectar algún patrón de comportamiento común que permita conocer qué circunstancias especiales ocurren esos días, si es que las hay.

Figura 1. Mapa de situación de la zona de estudio



Fuente: Cátedra del Tajo UCLM-Soliss



2. Fundamento principal

En la generación de espumas intervienen varios elementos como los tensoactivos, la materia orgánica disuelta en el agua y la agitación del agua. Los tensoactivos no se miden oficialmente (solo en el último muestreo de la RED CEMAS y solo un tipo de ellos), por lo que en este estudio se ha recurrido a la información disponible de nutrientes (amonio, fosfatos y nitratos) para deducir el impacto de la actividad humana. La presencia de altas concentraciones de amonio en el medio fluvial se relaciona con la presencia de aguas residuales urbanas, de residuos humanos que conllevan, a su vez, la presencia de geles y detergentes con tensoactivos. En general, las concentraciones de tensoactivos en aguas residuales pueden oscilar entre 1-20 mg/l, y en aguas superficiales en torno a 0,5 mg/l, detectándose la formación de espumas a partir de 0,3 mg/l (Ríos, 2014). Esto implica que las aguas residuales presentan, en general, concentraciones de tensoactivos suficientes para formar espumas. Por su parte, los fosfatos, también presentes en las aguas residuales urbanas e industriales, siguen presentes en muchos de los detergentes con tensoactivos aún hoy, a pesar de que a partir de 2013 se limitó su uso en detergentes para ropa y a partir de 2017 en detergentes para lavavajillas (DOUE, 2004). **Se entiende, por tanto, que, a mayor concentración de amonio y de fosfatos, mayor concentración de tensoactivos y, por tanto, mayor posibilidad de presencia de espumas en el río.**



3. Datos

En esta investigación se ha realizado un análisis cuantitativo y cualitativo de los datos oficiales disponibles, tanto relacionados con caudales y vertidos autorizados como con las características fisicoquímicas del agua, utilizando las series temporales más largas posibles. La información ha sido ofrecida por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) a través de su Centro de Estudios Hidrográficos (CEH) y por la Confederación Hidrográfica del Tajo (CHT), organismos adscritos al Ministerio de Transición Ecológica y Reto Demográfico del Gobierno de España. La Tabla 1 recoge las variables, periodos y fuentes de información que han sido consideradas en este trabajo.

Tabla 1. Fuente de datos, variables y periodo del análisis

Tema	Fuente	Ámbito	Variables	Periodo	Periodicidad	Nº Estaciones
Caudales	Red Oficial de Estaciones de Aforo (ROEA) (CEDEX, 2023)	Río Tajo (y afluentes) desde Aranjuez a Toledo	Caudal (m ³ /s)	1999-2020	Medias diarias	9 (Figura 5)
Vertidos	Censo de Vertidos autorizados (CHT, 2021)	Cuenca vertiente hasta la ciudad de Toledo	Vertido autorizado (m ³ /año)	2021	Anual	396 puntos de vertido
Concentración de contaminantes fisicoquímicos	Red CEMAS (Red de control de calidad fisicoquímica) (CHT, 2022a)	Río Tajo (y afluentes) desde Aranjuez a Toledo	Amonio (mg/l); Fosfatos (mg/l); Nitratos (mg/l)	2016-2020	Variable, según estaciones, entre 2 y 12 mediciones al año	11 (Figura 6)
Parámetros fisicoquímicos	Red SAICA (Sistema Automático de Información de Calidad de las Aguas) (CHT, 2022b)	Río Tajo (y afluentes) desde Aranjuez a Toledo	Temperatura (°C); pH; Conductividad (µS/cm); Oxígeno (mg/l); Turbidez (NTU); Amonio (mg/l); Fosfatos (mg/l); Nitratos (mg/l)	2013-2022	Quinceminutales*	8 (Figura 7)

*Con presencia de faltas.

Los episodios de espumas en el río Tajo a su paso por la ciudad de Toledo han sido obtenidos de la hemeroteca local, siempre que ha sido posible, y del archivo personal cedido para la investigación por Eduardo Sánchez Butragueño, autor del blog Toledo Olvidado (Sánchez, 2022) (véase Tabla 2). En esta investigación se recogen aquellos episodios registrados desde 2016 hasta 2021, con la excepción de 2020, año de aparición y mayor incidencia de la COVID-19, en el que no se ha podido registrar ninguno. Durante este periodo han existido más días con presencia de espumas en el río, que no han podido ser incluidos en esta investigación por no disponer, hasta el momento, de la base documental apropiada.



Tabla 2. Episodios de espumas en Toledo y existencia de datos fisicoquímicos en las estaciones de control de la Red SAICA.

Fecha aparición espumas en el río Tajo a su paso por Toledo		Existencia de datos en Estación SAICA E6-Safont (Toledo)	Referencia
2016	15-oct	✓	Corral, M (16/10/2016)
	30-oct	✓	Muñoz J.V. (31/10/2016)
	01-dic	X	Eduardo Sánchez Butragueño
	05-dic	X	Eduardo Sánchez Butragueño
	09-dic	X	Rodríguez, D. (09/12/2016)
2017	05-ene	X	Eduardo Sánchez Butragueño
	13-feb	X	Eduardo Sánchez Butragueño
	22-jul	✓	Eduardo Sánchez Butragueño
	02-ago	✓	Lasexta.com (02/08/2017)
	20-oct	✓	Enclm (22/10/2017)
	21-oct	✓	Enclm (22/10/2017)
	22-oct	✓	Enclm (22/10/2017)
	06-dic	✓	Romero, D. (06/12/2017)
	07-dic	✓	Eduardo Sánchez Butragueño
	09-dic	✓	Verdugo, J. (09/12/2017)
	31-dic	✓	Del Río, C. (31/12/2017)
2018	15-ene	✓	Martín. A. (18/01/2018)
	21-ene	✓	De Juan, R. (21/01/2018)
	22-ene	✓	Eduardo Sánchez Butragueño
	25-ene	✓	Río Tajo Vivo (25/01/2018)
	08-feb	✓	Arango, R. (08/02/2018)
	03-mar	✓	Río Tajo Vivo (03/03/2018)
	04-mar	✓	Noticias CMM (04/03/2018)
	17-mar	✓	Verdugo, J. (23/03/2018)
	09-jul	✓	LaSexta (09/07/2018)
	08-oct	✓	Eduardo Sánchez Butragueño
	29-nov	✓	Toledodiario (29/11/2018).
	19-dic	✓	Eduardo Sánchez Butragueño
2019	09-feb	✓	Enclm (10/02/2019)
2021	23-feb	✓	Gonzalo Garrigos (23/02/2021)
	24-mar	✓	Toletho (24/03/2021)
	29-abr	✓	Patrimonio Toledo (29/04/2021)
	23-jun	✓	Rafael Camarillo (23/06/2021)
	24-oct	✓	Morlanes, A. (25/10/2021)

Fuente: Cátedra del Tajo UCLM-Soliss



4. Resultados y conclusiones

Contaminación de las aguas del río Tajo a su paso por Toledo

- **Altos niveles de contaminación de las aguas.** Según el análisis de los datos oficiales (Red CEMAS —CHT, 2022a— y Red SAICA —CHT, 2022b) las aguas del río Tajo a su paso por Toledo presentan unos niveles de contaminación muy altos por presencia de nutrientes, muy superiores a los valores de referencia establecidos por la normativa española (BOE, 2015) en virtud del cumplimiento de los objetivos medioambientales de la DMA (DOCE, 2000).
- **Alta proporción de aguas residuales, en su mayor parte procedentes del Jarama.** El análisis de los puntos de vertido autorizados de la cuenca del Tajo hasta que llega a Toledo indica que la principal causa de la baja calidad de sus aguas en este punto se encuentra en los aportes provenientes del río Jarama, ya que un 79,6 % de los vertidos autorizados hasta Toledo son vertidos a ese río, cifra que se eleva hasta el 92,2 % en el caso de considerar los vertidos autorizados con carga orgánica destacable (obviando las piscifactorías y centrales térmicas y nucleares). Del total de vertidos autorizados hasta Toledo, el 87,4 % provienen de las EDAR. Es especialmente relevante la contribución de los vertidos de las estaciones depuradoras de la Comunidad de Madrid (83,1 %). Por contra, los vertidos autorizados aportados desde la desembocadura del Jarama hasta la ciudad de Toledo constituyen el 4,7 % del total, cifra que desciende al 3,9 % en el caso de contabilizar los vertidos con carga orgánica destacables. Este escenario implica que aproximadamente un 70 % del agua que circula por el río Tajo en Toledo proviene de vertidos autorizados que contienen aguas residuales tratadas, si se vertiera el máximo autorizado. Los vertidos con carga orgánica destacable suponen entre un 52 % y un 65 % del caudal que circula por Toledo.
- **La red CEMAS muestra altas concentraciones de nutrientes en el tramo medio del río Tajo, especialmente grave en el caso de los amonio y fosfatos,** que mantienen unas concentraciones mayoritariamente altas a lo largo de todo el tramo, muy por encima del límite de buen estado. **El comportamiento de los nitratos tiene una tendencia a aumentar** en el recorrido del río Tajo hacia Toledo, producto de distintos factores (nuevos vertidos, contaminación difusa, proceso de nitrificación del amonio) que no han podido ser analizados con los datos disponibles.
- **El río Jarama es la principal causa de la mala calidad química del tramo medio del río Tajo.** Comparando las concentraciones de nutrientes provenientes del río Tajo antes de la confluencia del río Jarama con las que provienen de este, se puede



confirmar que el río Jarama es la principal fuente de la mala calidad en cuanto a fosfatos, amonio y nitratos.

- **Efecto positivo de la dilución** de las aguas del río Tajo (más limpias hasta Aranjuez) en las aguas del río Jarama. Las concentraciones de nutrientes disminuyen al juntarse las aguas del río Jarama con las del río Tajo.
- Además del río Jarama (principal fuente de degradación de la calidad de las aguas), el río Tajo tiene otras fuentes de contaminación en su camino hacia Toledo, tal y como se concluye de los datos quinceminutales de la Red SAICA.
- **Se observa una insuficiente depuración de las aguas residuales.** Las **altas concentraciones de amonio** halladas son indicativas de una insuficiente depuración de los residuos urbanos. En el Tajo a su paso por Toledo, la concentración de amonio se ha situado el **73,8 % del tiempo por encima del valor máximo permitido (1 mg/l)**, y el 63,5 % por encima del doble del mismo, hasta llegar a registrar un **valor máximo de 50 mg/l, cincuenta veces superior a lo permitido**. Es importante señalar que estas cantidades, siendo extremadamente altas y preocupantes, son menores que en la desembocadura del Jarama en el Tajo, donde el 89,2 % del tiempo se superó el máximo permitido fijado en 0,6 mg/l, y el 84,2 % del tiempo el doble de lo permitido. Sin embargo, el máximo al que se llegó en el Jarama (39,2 mg/l) es inferior al alcanzado en Toledo. Cabe señalar que estas conclusiones pueden ser incompletas, ya que la serie parece estar cortada en 50 mg/l. El motivo posiblemente tenga su origen en que los aparatos medidores no están diseñados para registrar valores superiores a este valor, según información facilitada por la CHT.
- En el caso de los **fosfatos** nos encontramos ante un escenario parecido: **el 74,0 % del tiempo en Safont se ha incumplido la normativa vigente** y el 34,6 % se ha superado el doble del máximo legal permitido (0,4 mg/l), hasta alcanzar **máximos de 10 mg/l, veinticinco veces por encima del máximo legal**. En el Jarama estas mismas cifras se encuentran en el 76,9 % del tiempo de incumplimiento de la legislación y el 46,3 % del tiempo que se ha sobrepasado el doble de lo máximo permitido, llegándose a registrar un máximo de 10 mg/l, tras observarse un claro corte de la serie, como en el caso anterior.



Presencia de espumas en el río Tajo a su paso por Toledo

Las causas de la presencia de espumas en esta investigación se han buscado analizando en la red SAICA, con datos quinceminutales, la correlación entre las series en la estación de Puente Largo (Jarama antes de su desembocadura) y en Safont (Tajo en Toledo) de una serie de características fisicoquímicas: temperatura del agua, caudal, pH, conductividad, turbidez, oxígeno disuelto, amonio, fosfatos y nitratos.

El análisis conjunto de todas las variables demuestra que:

- **El caudal no es determinante en la generación de espumas en este caso concreto.** La hipótesis de que, a mayor caudal, se prevé mayor agitación del agua y, por tanto, mayor cantidad de espumas, no ha sido verificada: el caudal, en este caso, no guarda relación con la generación de espumas.
- Las espumas aparecen mayoritariamente de octubre a febrero (**meses más fríos**) y los días más fríos de esos meses más fríos en los que se han identificado con presencia de espumas, el pH del agua, la turbidez y la concentración de oxígeno eran más bajas, ya que se ha observado correlación positiva con la temperatura, sin poderse deducir causalidad. Sin embargo, atendiendo a las medias, no puede afirmarse que los episodios de espumas coincidan con momentos de temperaturas más bajas. Esto sí podría afirmarse atendiendo a las medianas, no pareciendo importante, no obstante, la diferencia de 1,3º entre la temperatura del agua de la serie completa y de la serie de episodios de espumas desde un punto de vista ambiental.
- **La concentración media de amonio y fosfatos en el Tajo en Toledo es significativamente mayor, desde un punto de vista estadístico, durante los episodios de espumas que en la serie completa.** Esto indica un origen claro de mayor contaminación en esos días. Las altas concentraciones de estos dos parámetros pueden estar relacionadas con los episodios de espuma del río Tajo a su paso por Toledo.
- El oxígeno es significativamente más bajo durante los episodios de espumas, situándose solo ligeramente por encima del valor de cambio de estado a peor que bueno por término medio en esos días.
- **El efecto de la mayor conductividad**, siendo esta significativamente mayor desde un punto de vista estadístico en los episodios de espuma, **no se considera importante** debido a su origen mayoritariamente natural, así como el de la turbidez por no estar sólo relacionado con la contaminación.
- **El 83,3 % de los días con espumas o el amonio o los fosfatos tenían una concentración muy alta** (mayor que el tercer cuartil de la serie).



- **El 95,8 % de los días con espumas o el amonio o los fosfatos superaban el límite de buen estado.**
- En lo que respecta al **origen de la contaminación en los días de espumas:**
 - **El río Jarama presenta una alta concentración de amonio en los días de espumas en Toledo.** En los episodios de espumas analizados existe una alta coincidencia de valores altos en las concentraciones de amonio en Puente Largo (río Jarama) y en Safont (río Tajo en Toledo) lo que permite concluir la alta incidencia de las concentraciones de amonio del río Jarama en el río Tajo en Toledo durante los episodios de espumas, existiendo a su vez otras fuentes intermedias.
 - **La alta concentración de fosfatos en Toledo no se corresponde con altos valores en el río Jarama.** Los días que se han detectado espumas y el río Tajo a su paso por Toledo tenía concentraciones elevadas de fosfatos, mayoritariamente éstos no provenían del río Jarama, sino de fuentes intermedias. Esto nos lleva a reafirmarnos en la presencia de fuentes puntuales, así como contaminación difusa, entre el río Jarama y Toledo que contribuyen a los altos niveles de fosfatos.
 - **Los valores elevados de amonio y fosfatos parecen apuntar a un origen mayoritariamente urbano de los nutrientes,** lo que encajaría con la gran cantidad de vertidos de aguas residuales que llevan tanto el Jarama como el Tajo en el tramo de estudio. Los vertidos urbanos suelen contener tensoactivos que son los responsables directos de la generación de espumas. Por ello, la conclusión más probable es que **los valores elevados de amonio y fosfatos en los episodios de espumas se deban a contaminación urbana.** No obstante, sería necesario contar con datos de presencia de tensoactivos en agua, con el fin de confirmar de forma definitiva el origen urbano o industrial de dicha contaminación.
- En esta investigación ha quedado patente **la altísima concentración de contaminantes presente en el río Tajo en su tramo medio.** En este escenario, puede deducirse que **cualquier descarga puntual de tensoactivos,** que se añade a un medio que ya llevaría una concentración alta de estos, **puede ser causa de las espumas al concurrir con los azudes que provocan agitación del agua.**

Limitaciones del estudio derivadas de la calidad de los datos disponibles:

- La red CEMAS ofrece una idea del estado general de las masas de agua en un punto concreto, pero no permite hacer un análisis espaciotemporal consistente, debido a



que las muestras no han sido tomadas en las mismas fechas ni con la misma periodicidad y son insuficientes.

- La red SAICA, aunque ofrece datos prácticamente en continuo (quinceminutales) de parámetros fisicoquímicos, tiene deficiencias en cuanto a la ausencia de mediciones de amonio, fosfatos y nitratos en muchas estaciones y durante largos periodos de tiempo. Además, la distribución de datos de cada uno de los componentes en las redes de información disponibles es muy variable, faltando gran cantidad de ellos a lo largo de días, meses e incluso años completos. Por último, ofrece fallos en la medición de la temperatura, conductividad y el pH, con valores en 0, y valores truncados para oxígeno, amonio, fosfatos y nitratos, por motivos técnicos (según comunicación de la CHT).
- Solo existen mediciones de tensoactivos en la red CEMAS en 2020 y únicamente de un tipo de ellos. El amonio y los fosfatos han sido considerados indicadores indirectos de la presencia de los tensoactivos generadores de espumas en el agua: el primero porque ante la presencia de grandes vertidos urbanos se deduce la presencia de tensoactivos procedentes de geles, detergentes y otros de origen industrial; y en el caso de los fosfatos, porque la mayor parte de los detergentes siguen conteniendo, además de tensoactivos, fosfatos en su elaboración. Sin embargo, dado que existe la posibilidad de que haya vertidos directos de tensoactivos, además de los incluidos de manera indirecta en detergentes, sería conveniente hacer nuevos estudios para corroborar la correlación hipotetizada, así como llevar a cabo el análisis de los datos disponibles, pero no publicados por la CHT, de tensoactivos.
- Además, debido a la metodología de recogida de información en cuanto a la aparición de episodios de espumas, en la que las fuentes documentales no han sido tan precisas como hubiera sido deseable en el registro de estos eventos, han existido episodios de espumas que no han sido detectados y se han perdido para el análisis. La generación de espumas en el río Tajo a su paso por Toledo es un hecho frecuente y habitual, por lo que enseguida deja de tener impacto mediático inmediato en los medios de comunicación. En consecuencia, numerosos episodios no han podido ser incluidos en este estudio. Se propone avanzar en la teledetección vía satélite como procedimiento para disponer de la práctica totalidad de los días con presencia de espumas.
- Un elemento que no se ha podido analizar con los datos disponibles es la incidencia de la contaminación difusa en las concentraciones ascendentes de nitratos. Las concentraciones de nitratos en Toledo son superiores a las del río Tajo tras la incorporación del río Jarama en Aranjuez, lo que indica que los altos niveles en



Toledo pueden deberse a fuentes ajenas a los aportes del río Jarama, así como al proceso de nitrificación del amonio. No obstante, la información relativa a la concentración de nitratos no está disponible en la mayor parte de los episodios de espumas, por lo que no se han podido extraer conclusiones válidas.

- Dados los altos niveles de amonio, fosfatos y nitratos que se detectan, como línea de investigación futura se plantea valorar la incidencia de los desbordamientos y aliviaderos de la red de alcantarillado en momentos puntuales de lluvia, así como de la contaminación difusa procedente de la agricultura.

5. Conclusión final

A pesar de las limitaciones contempladas, este trabajo ha podido establecer una asociación entre los episodios de espumas en el Tajo a su paso por Toledo y su alto grado de contaminación: se ha demostrado que los días en los que se ha registrado la presencia de espuma había, por término medio (y mediano), mayor concentración de amonio y fosfatos en el agua del río Tajo que en el conjunto de la serie. El 96 % de los días con espumas, o el amonio o el fosfato se encontraba por encima del límite de buen estado. El 83 % de los días con espumas o el amonio o los fosfatos tenían una concentración muy alta (mayor que el tercer cuartil). La contaminación que procede del Jarama, junto con las aportaciones de amonio y fosfatos entre la desembocadura de este en el Tajo (Aranjuez) y Toledo están asociados a los episodios de espumas. Los vertidos son, mayoritariamente, de origen urbano, lo que está asociado a la presencia de tensoactivos, que son los responsables directos de la generación de espumas en situación de turbulencia creada por los azudes de la ciudad, y que se han inferido a través de los elevados valores de amonio y fosfatos.