

Estudio sobre la contaminación de las aguas del río Tajo a su paso por Toledo

Mayo de 2024

Raúl Urquiaga, Beatriz Larraz, Beatriz Martín



Cátedra del
t a
Lo

Universidad de
Castilla-La Mancha



Fundación
SOLISS



Estudio sobre la contaminación de las aguas del río Tajo a su paso por Toledo (España)

Mayo de 2024

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

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



Índice

1. Introducción	7
2. Descripción de la zona de estudio.....	8
3. Datos y metodología	10
4. Resultados	16
4.1. Evaluación de vertidos autorizados que soporta el tramo medio del río Tajo ..	16
4.2. Análisis espaciotemporal de contaminantes en el tramo medio del río Tajo a través de la Red CEMAS.....	19
4.2.1 Concentración de nutrientes en el tramo medio del río Tajo.....	19
4.2.2. Concentraciones del tensoactivo sulfonato de alquilbenceno lineal en el tramo medio del río Tajo	25
4.3. Análisis temporal de parámetros fisicoquímicos en las estaciones de Safont (río Tajo en Toledo) y Puente Largo (río Jarama en Aranjuez). Comparativa en el periodo 2013-2022	26
5. Conclusiones	39
6. Referencias.....	41
Anexo 1. Concentración de amonio y fosfatos en las estaciones de la red SAICA de Puente Largo (río Jarama antes de su desembocadura) y Safont (Toledo). Serie 2014-2021 y gráficas anuales.....	46



Índice de figuras

Figura 1. Mapa de situación de la zona de estudio	9
Figura 2. Caudal medio anual (m ³ /s) en el río Tajo a su paso por Aranjuez desde 1954 a 2020.	9
Figura 3. Estaciones de aforos en la zona de estudio.	11
Figura 4. Estaciones de la Red CEMAS en la zona de estudio.	12
Figura 5. Estaciones de la Red SAICA utilizadas en el estudio.	14
Figura 6. Vertidos autorizados en la cuenca vertiente al río Tajo a su paso por Toledo. Isla de calor realizada a partir del volumen de vertido autorizado anual (m ³ /s).	18
Figura 7. Concentración de nutrientes en la estación Aranjuez 1-Tajo y cumplimiento de objetivos medioambientales.	20
Figura 8. Concentración de nutrientes en la estación Aranjuez 2-Tajo y cumplimiento de objetivos medioambientales.	20
Figura 9. Concentración de nutrientes en la estación Aranjuez-Jarama y cumplimiento de objetivos medioambientales.	21
Figura 10. Concentración de nutrientes en la estación Añover-Tajo y cumplimiento de objetivos medioambientales.	21
Figura 11. Concentración de nutrientes en la estación Mocejón-Tajo y cumplimiento de objetivos medioambientales.	22
Figura 12. Concentración de nutrientes en la estación Villaseca-Guatén y cumplimiento de objetivos medioambientales.	22
Figura 13. Concentración de nutrientes en la estación Villasequilla-Martín Román y cumplimiento de objetivos medioambientales.	22
Figura 14. Concentración de nutrientes en la estación Toledo-Guazalet y cumplimiento de objetivos medioambientales.	22
Figura 15. Concentración de nutrientes en la estación Toledo 1-Tajo y cumplimiento de objetivos medioambientales.	23
Figura 16. Concentración de nutrientes en la estación Aranjuez-Algodor y cumplimiento de objetivos medioambientales.	23
Figura 17. Concentración de nutrientes en la estación Toledo 2-Tajo y cumplimiento de objetivos medioambientales.	24
Figura 18. Medianas de mg de nitratos (NO ₃ /l), fosfatos (PO ₄ /l) y amonio (NH ₄ /l) en las estaciones CEMAS del tramo medio del río Tajo (años 2016-2020) y cumplimiento de objetivos medioambientales.	24



Figura 19. Vertidos totales autorizados al año en el tramo medio del río Tajo. Se incluye la aportación inicial del Jarama y del propio Tajo antes de la desembocadura.	25
Figura 20. Concentración de sulfonato de alquilbenceno lineal (mg/l) en las estaciones de la Red CEMAS de Aranjuez-Jarama, Mocejón-Tajo y Toledo 1-Tajo.	26
Figura 21. Variación de la temperatura (° C) en las estaciones de Puente Largo (a) y de Safont (b) de la Red SAICA (2014-2021).	27
Figura 22. Comparación de las medianas anuales de la temperatura (° C) en las estaciones de Puente Largo y de Safont de la Red SAICA (2014-2021).	27
Figura 23. Variación del pH en las estaciones de Puente Largo (a) y de Safont (b) de la Red SAICA (2014-2021).	28
Figura 24. Comparación de las medianas de pH en las estaciones de Puente Largo y de Safont de la Red SAICA (2014-2021).	28
Figura 25. Variación de la conductividad (µS/cm) en las estaciones de Puente Largo (a) y de Safont (b) de la Red SAICA (2014-2021).	29
Figura 26. Comparación de las medianas de conductividad (µS/cm) en las estaciones de Puente Largo y de Safont de la Red SAICA (2014-2021).	29
Figura 27. Variación de oxígeno disuelto (mg/L) en las estaciones de Puente Largo (a) y de Safont (b) de la Red SAICA (2014-2021).	30
Figura 28. Comparación de las medianas de oxígeno disuelto (mg/l) en las estaciones de Puente Largo (izquierda) y de Safont (derecha) de la Red SAICA (2014-2021).	30
Figura 29. Variación de turbidez (UNF) en las estaciones de Puente Largo (a) y de Safont (b) de la Red SAICA (2014-2021).	31
Figura 30. Comparación de las medianas de turbidez (UNF) en las estaciones de Puente Largo y de Safont de la Red SAICA (2014-2021).	31
Figura 31. Variación de amonio (mg/l) en las estaciones de Puente Largo (a) y de Safont (b) de la Red SAICA (2014-2021).	33
Figura 32. Comparación de las medianas de amonio (mg/l) en las estaciones de Puente Largo (izquierda) y de Safont (derecha) de la Red SAICA (2014-2021).	33
Figura 33. Variación de fosfatos (mg/l) en las estaciones de Puente Largo (a) y de Safont (b) de la Red SAICA (2014-2021).	34
Figura 34. Comparación de las medianas de fosfatos (mg/l) en las estaciones de Puente Largo y de Safont de la Red SAICA (2014-2021).	34
Figura 35. Variación de nitratos (mg/l) en la estación SAICA de Safont (2014-2021). (a) Serie completa; (b) serie en la que han suprimido los valores >100 mg/l.	35
Figura 36. Comparación de las medianas de nitratos (mg/l) en la estación SAICA de Safont (2016-2021). Fuente CHT. Elaboración propia.	36



Figura 37. Box and whiskers-plot de los distintos parámetros fisicoquímicos para la serie completa en Safont en el periodo 2014-2021.....37

Figura 38. Caudales medios diarios circulantes en la estación de Puente de Algodor (río Tajo).
.....39

Índice de tablas

Tabla 1. Fuente de datos, variables y periodo del análisis.....10

Tabla 2. Parámetros consignados en cada estación de muestreo de la Red SAICA.....15

Tabla 3. Límites de cambio de estado.....16

Tabla 4. Vertidos autorizados en la cuenca del río Jarama16

Tabla 5. Vertidos autorizados en la cuenca del río Tajo desde Aranjuez hasta la ciudad de Toledo.....17

Tabla 6. Relación de caudales medios y vertidos autorizados en el tramo medio del río Tajo.
.....19

Tabla 7. Matriz de coeficientes de correlación entre las variables dos a dos en la serie completa en Safont en el periodo 2014-2021.38



1. Introducción

Desde los años 70, el río Tago es un curso con graves problemas ambientales. Como consecuencia de la industrialización, la concentración de población en grandes núcleos urbanos, las extracciones agrarias y la contaminación por actividades agrícolas y ganaderas, el Tago se encuentra con un caudal mermado, degradado ambientalmente, contaminado y con su dinámica fluvial muy alterada (Larraz et al., 2015). Las aguas del río Tago a su paso por Toledo (España) se encuentran con un nivel de contaminación muy alto, con sus riberas degradadas, desconectadas, alteradas y con una sistemática falta de caudal que le hace encontrarse alejado de sus condiciones naturales, previas a la acción del ser humano (Gallego, 2013; Larraz et al., 2015; San Martín et al., 2020). Los problemas más importantes vienen generados por la detracción de caudal del trasvase Tajo-Segura, la entrada de aguas residuales depuradas, principalmente del área metropolitana de Madrid, y la concatenación de embalses hidroeléctricos en el tramo bajo español (a su paso por Extremadura), agravados por el impacto del cambio climático (Gallego, 2013; San Martín et al., 2020).

El entorno metropolitano de Madrid, que se acerca ya a los siete millones de habitantes (INE, 2023), representa el 82 % de la población de la cuenca y se encuentra concentrada en su parte media-alta, siendo la principal área urbana e industrial del país. Dos de sus cuencas (las de los ríos Jarama y Guadarrama) recogen la práctica totalidad de los vertidos de la región madrileña, y estos desembocan en el río Tajo. Los sistemas de depuración de la Comunidad Autónoma de Madrid, pese a tratar la práctica totalidad del agua residual urbana en la región, con un total de 158 Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR) (Comunidad de Madrid, 2021), son incapaces de evitar que los ríos Jarama y Guadarrama fluyan con una alta concentración de contaminantes fisicoquímicos mayor a la permitida (Urquiaga, 2013 y Larraz et al., 2023). Tras el vertido de las depuradoras, estos cursos pueden considerarse, más que ríos, colectores de efluentes residuales (Díez-Mayans y Bienes, 2003).

Además de los vertidos de origen urbano e industrial, hay que señalar el impacto de la contaminación difusa proveniente de la agricultura y ganadería (Arauzo et al., 2008; Arenas-Sánchez et al., 2019), principalmente por el uso de nitratos y sustancias derivadas de los fitosanitarios. El 37 % de las masas de agua superficial de la Demarcación Española de la cuenca del Tajo estarían afectadas por contaminaciones de origen agrícola o ganadero con resultados por encima de 5 mg de Nitrógeno total/l y de 22,1 mg/l de nitratos (CHT, 2020).

La alta proporción de aguas residuales, con una elevada concentración de contaminantes (Arenas-Sánchez et al., 2019; Valcárcel et al., 2012) en la cuenca del Jarama es señalada como la principal causa del incumplimiento de los objetivos ambientales de calidad en las aguas del río Tajo en su curso medio (Bolinches, 2019). Este autor demuestra que con los niveles actuales de depuración y, aunque se cumplieran los niveles exigidos en efluente en cada depuradora, no se llegaría a alcanzar el buen estado en las aguas del tramo medio del río Tajo. El problema se genera porque la normativa sobre tratamiento de aguas atiende solamente a los efluentes individuales de cada una de las depuradoras, pero se olvida de los efectos acumulativos y de que las aguas receptoras deben cumplir con el buen estado tras el vertido (Bolinches et al., 2020).



La falta de calidad de agua del río Tajo a su paso por Toledo ya viene señalada en la evaluación de la calidad de las masas de agua que la Confederación Hidrográfica del Tajo (CHT), organismo público encargado de su gestión, realiza en los distintos ciclos de planificación hidrológica. En estos (CHT 2015; CHT, 2016; CHT, 2023), la calidad ecológica del río siempre ha estado en valores por debajo de los objetivos medioambientales en aplicación de la Directiva Marco del Agua (DMA, 2000).

Este problema de alta acumulación de vertidos interacciona negativamente con el otro principal problema que sufre el río Tajo: la importante falta de dinámica fluvial y detracción de caudales como consecuencia del trasvase Tajo-Segura. En el año 1980 se comenzó a derivar agua desde la cabecera del Tajo hacia el sureste de la península Ibérica, viéndose mermado así el caudal circulante por el eje del Tajo y, por tanto, su capacidad de dilución y autodepuración. La actual gestión del trasvase Tajo-Segura impide el cumplimiento de los objetivos medioambientales de la DMA en el río Tajo (de Lucas, 2019).

En este contexto de contaminación y falta de caudal, en la ciudad de Toledo ocurren eventos de aparición de espumas que causan un gran impacto social en la opinión pública (Camiñas, 1989; Corral, 2016; Manjavacas, 2022) y deterioran la imagen de esta ciudad Patrimonio de la Humanidad desde 1986. La presencia de estos cada vez más recurrentes episodios de espumas en el río Tajo, que es considerado como el principal patrimonio natural de la ciudad, hace imprescindible la dedicación de esfuerzos a intentar conocer su origen.

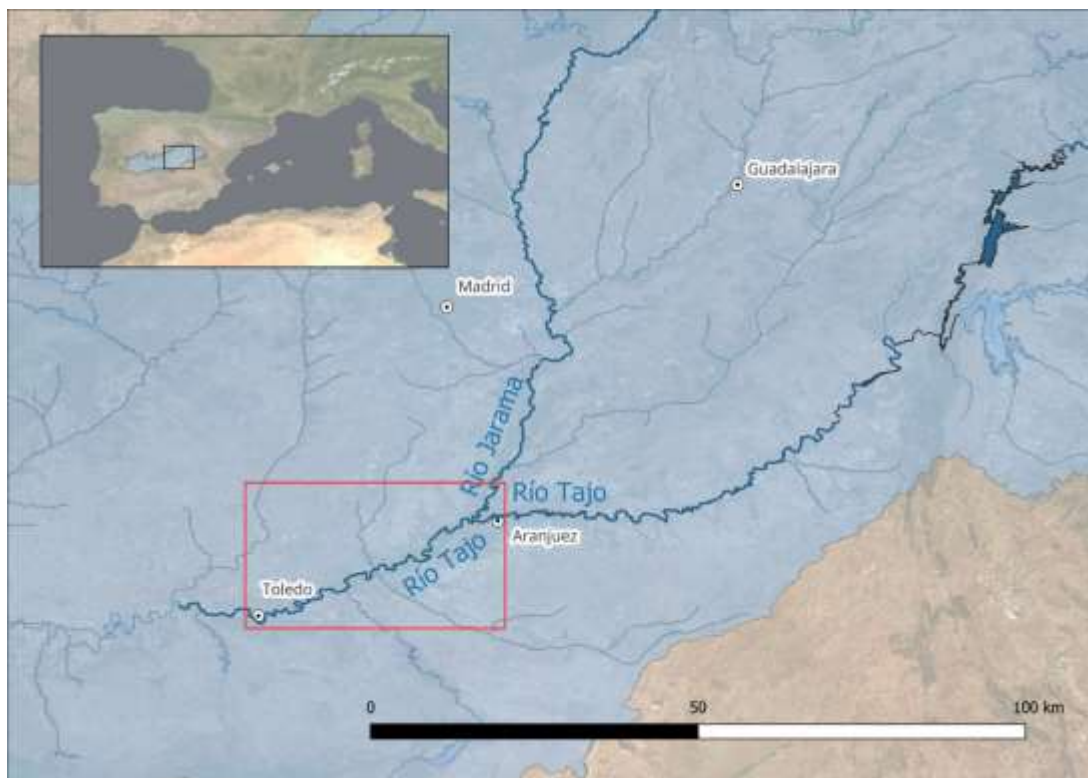
En este contexto, y como primer paso para poder analizar los episodios de presencia de espumas, el objetivo de este trabajo es avanzar en primer lugar en el conocimiento del grado de contaminación del río en su tramo medio a partir de los datos oficiales. Para ello se parte desde la confluencia con el río Jarama, al ser la principal entrada de aguas residuales.

2. Descripción de la zona de estudio

La ciudad de Toledo (España) se sitúa en el centro de la península ibérica y cuenta con una población de 86.070 habitantes (INE, 2023). Su patrimonio histórico-artístico y paisajístico le valió en 1986 el título de ciudad Patrimonio de la Humanidad (UNESCO, 1986), lo que la convierte en uno de los principales destinos turísticos en España y del mundo. A pesar de ello, su principal patrimonio natural, el río Tajo, que rodea su casco histórico, se encuentra en mal estado ecológico a su paso por la ciudad, hecho muy grave en sí mismo, que resta atractivo turístico y, lo que es más importante, no puede proporcionar a la ciudadanía los beneficios de un ambiente saludable (Aguilar, et al. 2024).

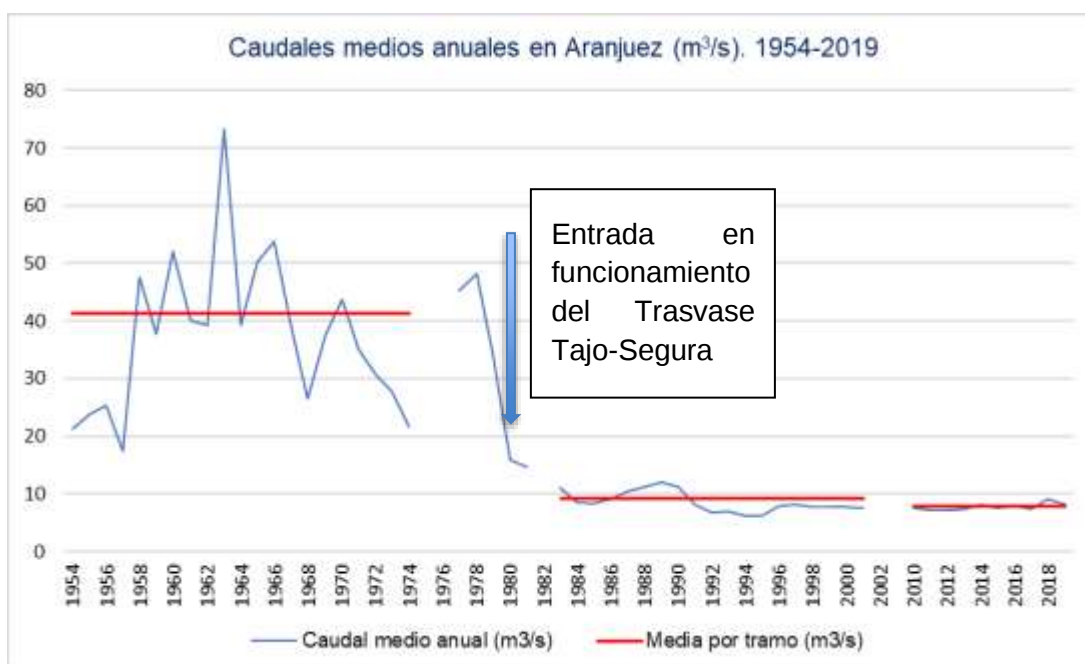
La Figura 1 muestra la localización del río Tajo en la Península Ibérica, desde su cabecera hasta la ciudad de Toledo y su principal afluente por la margen derecha, el río Jarama, que recoge el efluente de todas las depuradoras de la provincia de Madrid (excepto las de la zona oeste, que vierten a la cuenca del río Guadarrama) y de la provincia de Guadalajara a través del río Henares. Este río Jarama desemboca a la altura de Aranjuez, en un río Tajo que ha visto reducido de forma alarmante su caudal desde el año 1980 como consecuencia de la puesta en funcionamiento del trasvase Tajo-Segura (véase Figura 2).

Figura 1. Mapa de situación de la zona de estudio



Fuente: Cátedra del Tajo UCLM-Soliss

Figura 2. Caudal medio anual (m^3/s) en el río Tajo a su paso por Aranjuez desde 1954 a 2020.



Fuente: Elaboración propia con datos procedentes del CEDEX.



3. Datos y metodología

En esta investigación se ha realizado un análisis cuantitativo de los datos oficiales disponibles, tanto relacionados con caudales y vertidos 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, 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	Variable	Periodo	Periodicidad	Nº Estaciones
Caudales	Red Oficial de Estaciones de Aforo (ROEA) (CEDEX, 2023)	Río Tajo (y afluentes) desde Aranjuez a Toledo	Caudal (m³/s)	1999-2020	Medias diarias	9 (Figura 5)
Vertidos	Censo de Vertidos autorizados (CHT, 2021)	Cuenca vertiente hasta la ciudad de Toledo	Vertido autorizado (m³/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)

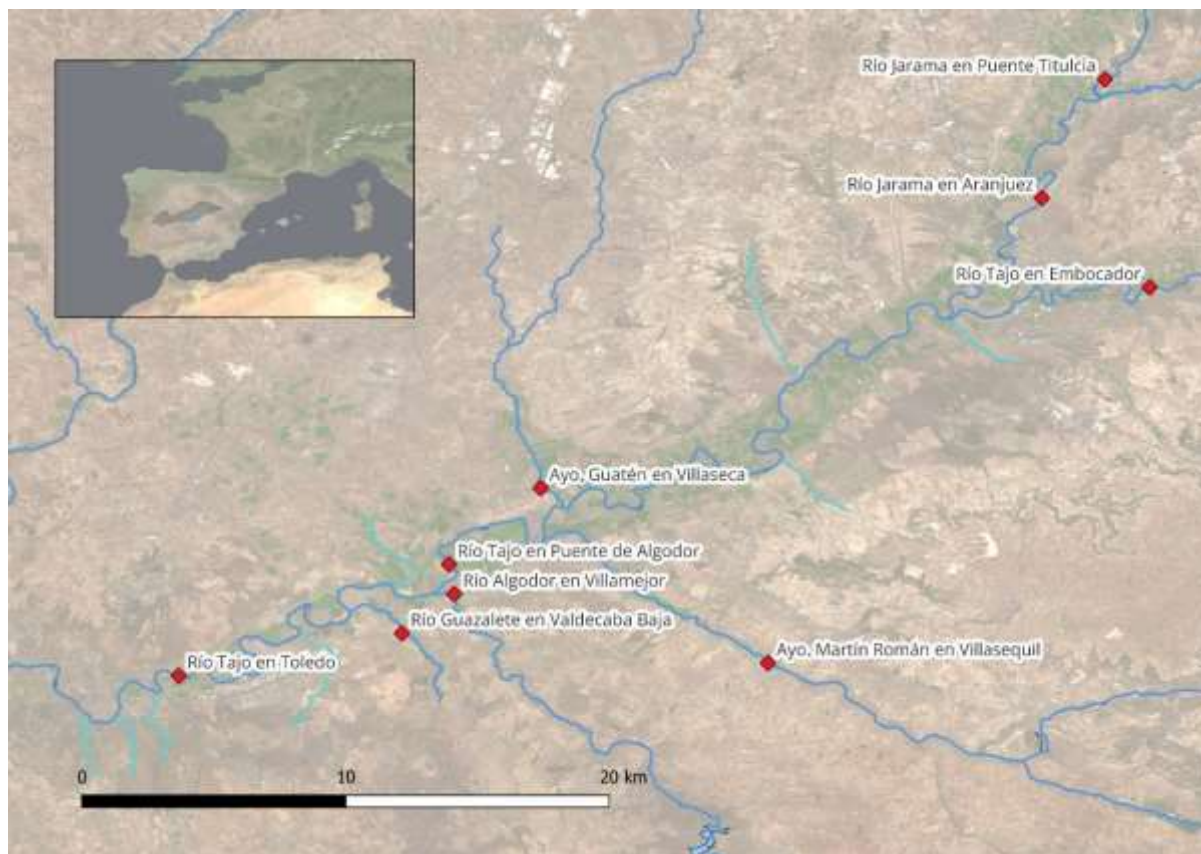
*Con presencia de faltas.

Con el objeto de conocer la proporción de vertidos que soporta el río, estos han sido relacionados con los caudales circulantes. Para ello, han sido considerados los vertidos autorizados al dominio público hidráulico del Censo de Vertidos de la demarcación hidrológica del Tajo (CHT, 2021) elaborado según el artículo 254 del Reglamento de Dominio Público Hidráulico (BOE, 1986). Se han recogido los datos de las subcuencas receptoras hasta la última estación de control de calidad del agua (Toledo 2-Tajo, véase Figura 3) en la capital toledana, así como los producidos directamente al propio río. En este cálculo se han obviado los autorizados generados aguas arriba de la derivación del trasvase Tajo-Segura (en la presa de Bolarque), ya que, en función de los caudales trasvasados, el volumen de vertidos en el río Tajo podría estar distorsionada. Además, suponen tan solo el 5 % del caudal circulante, lo cual puede considerarse como un volumen despreciable. Hay que tener en cuenta que los vertidos realizados en cada uno de los casos no tienen por qué coincidir con el volumen autorizado, pero, en la práctica, ambos valores (reales y máximo autorizado) se encuentran muy ajustados, por lo que sí que pueden ayudar a tener una idea de su proporción respecto al caudal circulante.

Los vertidos autorizados pueden, por tanto, considerarse como el máximo al que podrían llegar los vertidos realizados, siendo ambos valores muy próximos. Por otro lado, no han podido ser contabilizados los vertidos no autorizados, por razones obvias de ausencia de información, si bien este hecho no parece importante por la escasa relevancia que tienen estos vertidos respecto del total, según ha sido comunicado por la CHT.

Para conocer la proporción que representan los vertidos diluidos en el caudal circulante del río Tajo, se han calculado los caudales medios en las estaciones de la red de aforos de la CHT (CEDEX, 2019; véase en la Figura 5 su localización) en el tramo entre Aranjuez y Toledo. En total, son 9 estaciones de control de caudales. En lo que respecta a la serie temporal, se han utilizado los datos desde 1999 hasta 2020 (último año con datos disponibles al cierre de esta investigación). Se ha trabajado con esta serie de los últimos 20 años para minimizar distorsiones por los efectos del cambio climático en la reducción de los caudales de los ríos de la cuenca. A la hora de estudiar los caudales circulantes, hay que tener en cuenta que la estación de aforos más cercana a Safont (en Toledo ciudad) es la de Puente de Algodor, a 25 km de Safont aguas arriba. La estación de Safont fue cerrada en el año 2009. En principio, esta circunstancia no supone demasiado inconveniente, teniendo en cuenta que desde el Puente de Algodor, al Tajo las entradas de agua son mínimas ($0,48 \text{ m}^3/\text{s}$ de media desde el río Algodor y $0,06 \text{ m}^3/\text{s}$ desde el río Guazalet). Existen otros arroyos de menor entidad, pero sin estación de aforos.

Figura 3. Estaciones de aforos en la zona de estudio.

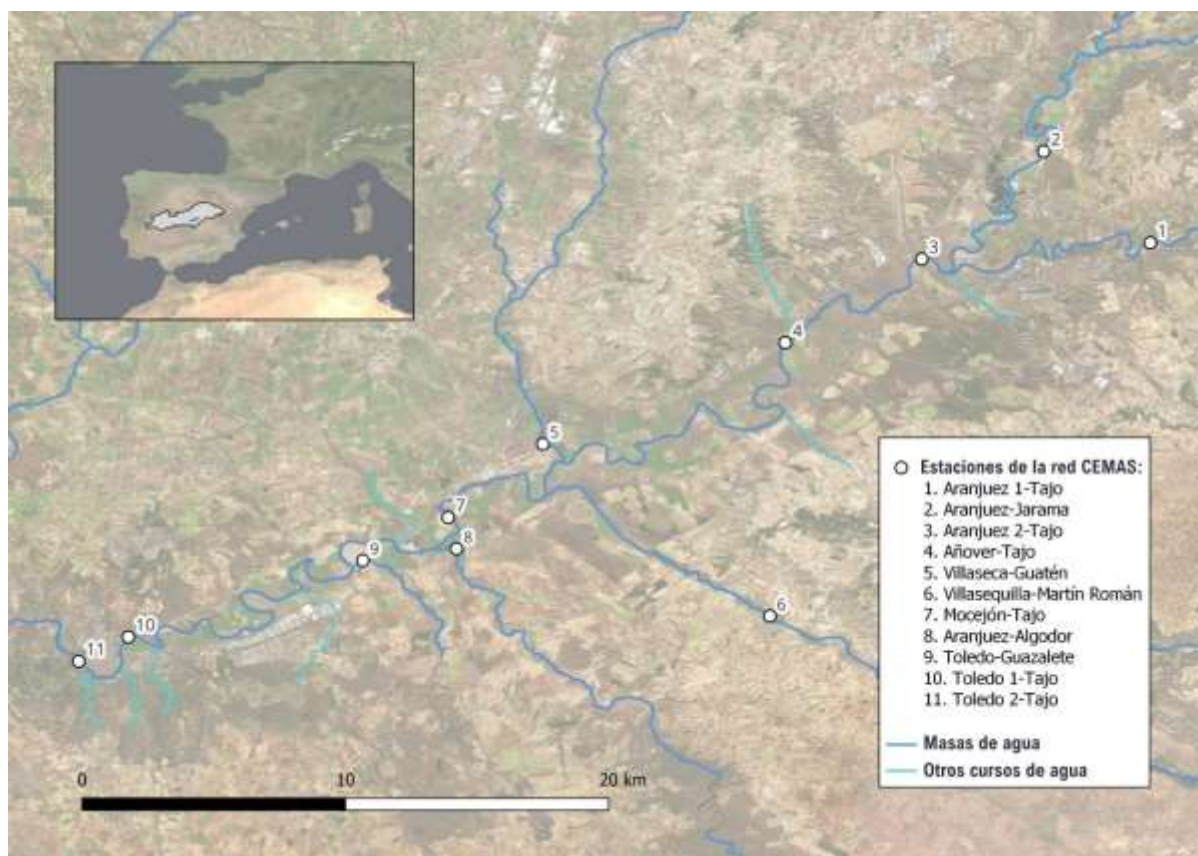


Fuente: Cátedra del Tajo UCLM-Soliss a partir de datos del CEDEX (2019).

En cuanto a las características fisicoquímicas, que incluye los nutrientes, se ha realizado un análisis estadístico espaciotemporal: espacial, en el tramo de río Tajo desde el Embalse de Bolarque hasta Toledo y en el río Jarama; y temporal utilizando las máximas series históricas de cada una de las variables fisicoquímicas disponibles. Los datos han sido obtenidos de las redes del programa de seguimiento de calidad de las masas de agua superficiales de la CHT: Red CEMAS (CHT, 2022a) y Red SAICA (CHT, 2022b). Los programas de seguimiento de las masas de agua sirven para evaluar el cumplimiento de los objetivos medioambientales emanados por la Directiva 2000/60/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000 (DMA, 2000).

Los parámetros estudiados de la Red CEMAS (Figura 4) han sido las concentraciones de nutrientes (nitratos —mg de NO_3/l —, fosfatos —mg de PO_4/l — y amonio —mg de NH_4/l) y de sulfonato de alquilbenceno lineal (mg de LAS/l), único tensoactivo medido. En esta red de estaciones de control, las medidas se realizan en momentos puntuales de cada año, sin periodicidad fija. Se ha analizado la máxima serie histórica disponible (2016-2020). En esta serie solo se analiza el sulfonato de alquilbenceno lineal en 2020 en la zona de estudio. Los datos no son homogéneos en cada estación en cuanto a número de muestras anuales (varían entre 1 a 12), número de muestreos entre las estaciones (variación entre 14-27 observaciones) y fecha de la recogida de datos.

Figura 4. Estaciones de la Red CEMAS en la zona de estudio.

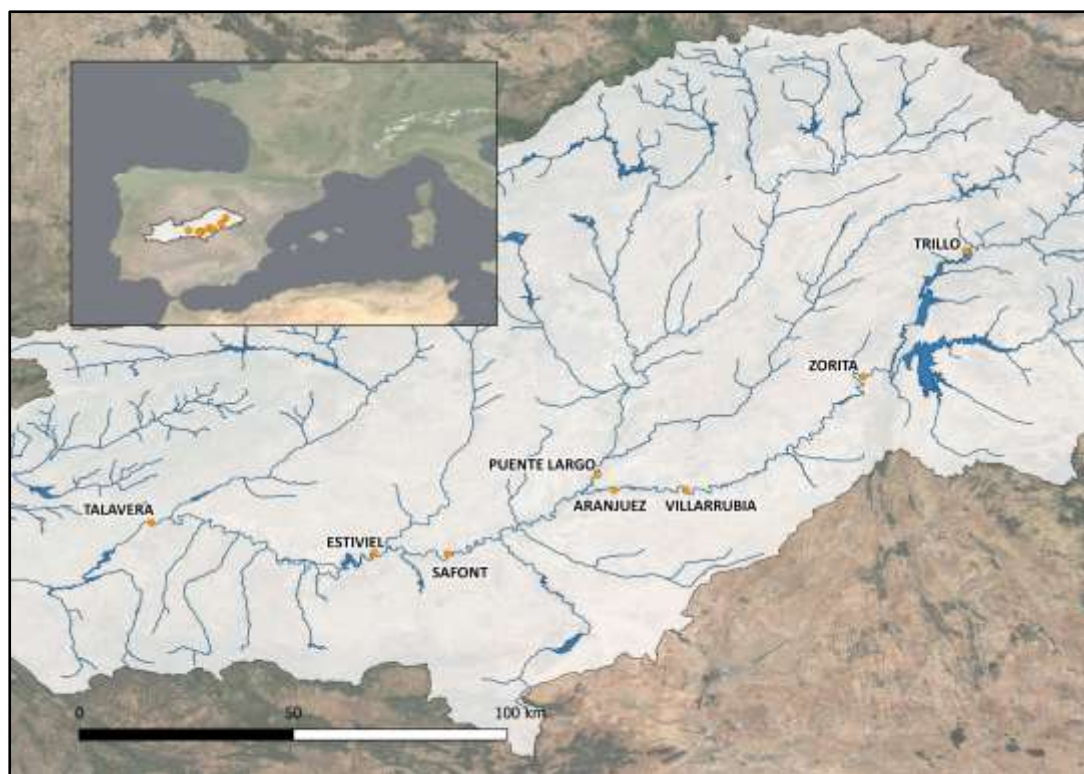


Fuente: Cátedra del Tajo UCLM-Soliss a partir de datos de CHT (2022a).



A través de los datos de la red CEMAS se tiene una idea del grado de contaminación general de las masas de agua en cada uno de los puntos con información disponible. Pero esta base de datos, si bien es útil para disponer de una visión general del estado del río, resulta insuficiente para el objetivo último de esta investigación debido a su escasa periodicidad e irregularidad entre estaciones. Por ello, para llevar a cabo una comparativa en continuo de las características fisicoquímicas del agua procedente del Jarama y de la que circula en el Tajo a su paso por Toledo se ha recurrido al análisis de los datos quinceminutales de la Red SAICA (Sistema Automático de Información de Calidad de las Aguas, CHT, 2022b). Sus estaciones proporcionan un control continuo y sistemático de los niveles de calidad de las aguas, mediante la medición de parámetros en tiempo real (quinceminutal) y toma de muestras automática. Téngase en cuenta, a la hora de interpretar los resultados, que la red SAICA ha sido diseñada para controlar los vertidos, situándose las estaciones de muestreo en zonas cercanas a fuentes contaminantes, por lo que es posible que los resultados de contaminación que se aportan estén sesgados por ubicación. Se han utilizado los datos de los años completos 2014 a 2021 de 8 estaciones (véase en la Figura 5 su localización y en la Tabla 2 la información disponible en cada una). Esta comparativa, en concreto, ha sido realizada a partir de las estaciones de Puente Largo (E5), en el río Jarama en Aranjuez, y Safont (E6), en el Tajo en Toledo, y permite observar la influencia de la contaminación del río Jarama, procedente de la región de Madrid, sobre el río Tajo. De cada uno de los parámetros fisicoquímicos ha sido calculada la mediana, estimador más robusto que la media aritmética ante la presencia de datos anómalos, como es el caso que nos ocupa en esta investigación. El contraste de comparación entre medianas se ha resuelto utilizando técnicas de simulación. En concreto, los p-valores se han obtenido mediante técnicas de bootstrap a partir de 1000 remuestras (Efron and Tibshirani, 1994). No obstante, el gran tamaño muestral disponible (datos quinceminutales durante 8 años) llevará a rechazar la hipótesis nula de igualdad de medianas en todos los casos, ya que cualquier pequeña diferencia es detectada. Por ello, las diferencias entre medianas no podrán ser valoradas desde su significatividad estadística, sino desde el punto de vista de su diferencia sustantiva, i.e., de si para cada parámetro concreto, esas diferencias detectadas suponen un claro incremento o decremento que tenga alguna implicación o no.

Figura 5. Estaciones de la Red SAICA utilizadas en el estudio.



Fuente: Cátedra del Tajo UCLM-Soliss a partir de datos de CHT (2022b).

Los parámetros medidos en las estaciones de la red SAICA son: temperatura ($^{\circ}$ C), pH, conductividad (μ S/cm), oxígeno (mg/l), turbidez (NTU), amonio (mg/l), fosfatos (mg/l) y nitratos (mg/l). Estos factores han sido tenidos en cuenta por la información que aportan por sí mismos y por poder ser indicadores indirectos de la presencia de las sustancias que pueden dar explicación a las espumas, los tensoactivos. 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 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 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. En la Tabla 2 se presentan los datos disponibles para cada parámetro en cada estación, destacando la ausencia de datos de amonio y fosfatos en muchas de las estaciones. En cuanto a los nitratos, solo existen datos para la estación de Safont, por lo que no puede hacerse un estudio de su evolución entre los distintos puntos de control.



Tabla 2. Parámetros consignados en cada estación de muestreo de la Red SAICA.

Provincia	Estación							
	Guadalajara			Madrid		Toledo		
Parámetro	E1 Trillo	E2 Zorita	E3 Villarrubia	E4 Aranjuez	E5 Puente Largo	E6 Safont	E7 Estiviel	E8 Talavera
Temperatura	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
pH	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Conductividad	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Oxígeno	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Turbidez	✓	X	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Amonio	X	X	X	X	✓	✓	✓	X
Fosfatos	X	X	X	X	✓	✓	✓	X
Nitratos	X	X	X	X	X	✓	X	X

Fuente: Cátedra del Tajo UCLM-Soliss a partir de datos de CHT (2022b).

Para cada estación se analizaron los datos quinceminutales de los años 2013 a 2022, lo que supuso un total de 280.320 registros de cada parámetro en cada estación. No obstante, debido a que ni el año 2013 ni el 2022 estaban completos, fueron eliminados de la base de datos para evitar conclusiones erróneas. 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 este motivo, el año 2017 ha sido eliminado completamente en la comparación entre estaciones. Ha sido necesario, además, eliminar todos los datos con valor de 0 para temperatura del agua, pH y conductividad al considerarse que eran debidos a fallos en la medición o en la transcripción de la información. Además, se detectó que algunas series estaban acotadas en sus valores superiores, aunque se desconoce la razón. Es posible que los sensores no consignen valores superiores o que se haya dispuesto un límite para los mismos.

Como referencia para valorar el estado de las aguas en las estaciones SAICA y CEMAS se han tenido en consideración las condiciones de referencia y límites de cambio de estado que aparecen en el Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental (BOE, 2015). Cada uno de estos elementos tienen unos límites de cambio diferentes en función del tipo ecológico de masa de agua. En el caso de la estación de E5- Puente Largo, la masa de agua correspondiente, según aparece en el Plan Hidrológico, es la ES030MSPF0416021 *Río Jarama desde Río Tajuña hasta Río Tajo*, cuya tipología es la R-T16 *Ejes mediterráneo-continentales mineralizados*. Mientras que para la estación de Safont es la ES030MSPF0608221 *Río Tajo desde confluencia con Arroyo de Guatén hasta Toledo*, cuyo ecotipo es el R-T17 *Grandes ejes en ambiente mediterráneo*. En la Tabla 3 se muestran los límites de cambio de estado para ambas masas de agua.



Tabla 3. Límites de cambio de estado

Tipo de río	Indicador	Unidades	Límites de cambio de estado	
			Muy bueno/Bueno	Bueno/Moderado
R-T16	pH	–	6,5-8,7	6-9
	Oxígeno	mg/L		5
	% Oxígeno	%	70-100	60-120
	Amonio	mg NH ₄ /L	0,2	0,6
	Fosfatos	mg PO ₄ /L	0,2	0,4
	Nitratos	mg NO ₃ /L	10	25
R-T17	pH	–	6,5-8,7	6-9
	Oxígeno	mg/L		5
	% Oxígeno	%	70-100	60-120
	Amonio	mg NH ₄ /L	0,3	1
	Fosfatos	mg PO ₄ /L	0,2	0,4
	Nitratos	mg NO ₃ /L	10	25

Fuente: BOE (2015)

4. Resultados

4.1. Evaluación de vertidos autorizados que soporta el tramo medio del río Tajo

La cuenca del Jarama soporta un volumen de vertidos autorizados al dominio público hidráulico de 589 hm³/año, correspondiendo el 84 % (496 hm³/año) a la comunidad autónoma de Madrid. De ellos, la práctica totalidad provienen de las EDAR, siendo estas responsables del 87 % de los vertidos autorizados en toda la cuenca del Jarama (Tabla 4). Recuérdese que los vertidos autorizados no tienen por qué ser vertidos reales, si no el máximo al que estos podrían llegar, aunque en la práctica son muy similares.

Tabla 4. Vertidos autorizados en la cuenca del río Jarama

Vertidos autorizados en la cuenca del Jarama	m ³ /año	%
Por provincia de origen del vertido		
Provincia de Guadalajara	91.287.479	15,5
Provincia de Madrid	496.634.889	84,3
Provincia de Toledo	890.000	0,2
Total	588.812.368	100,0
Por fuente de origen del vertido		
Vertidos autorizados totales provenientes de EDAR	514.534.300	87,4*
Vertidos autorizados provenientes de EDAR de la provincia de Madrid	489.073.059	83,1*

Nota: *Porcentaje del total de la cuenca del Jarama.

Fuente: Censo de vertidos autorizados (CHT, 2021). Elaboración propia



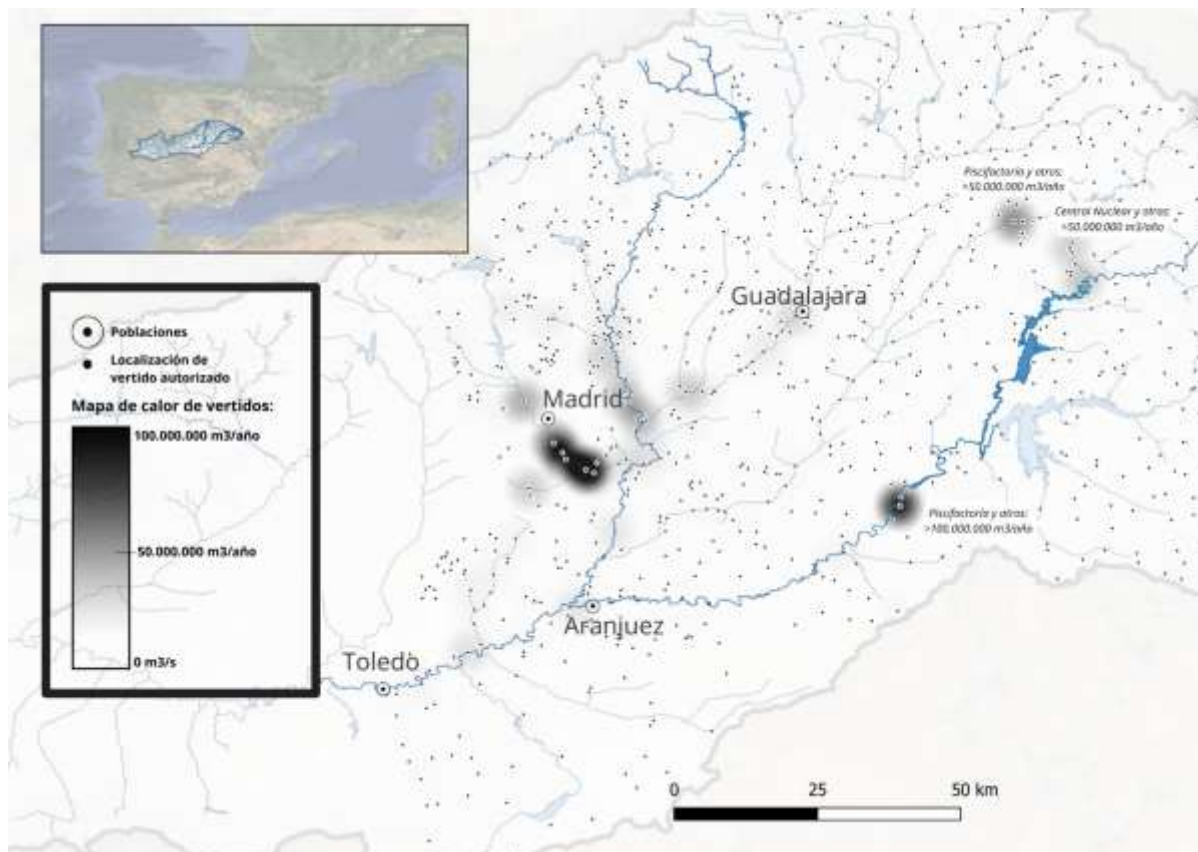
Tabla 5. Vertidos autorizados en la cuenca del río Tajo desde Aranjuez hasta la ciudad de Toledo.

Vertidos autorizados cuenca del Tajo hasta Toledo	m ³ /año	% sobre total vertidos	% sobre total vertidos carga orgánica
Vertidos provenientes del río Tajo en Aranjuez	116.332.266	15,7	
Vertidos autorizados totales "con carga orgánica destacable"	21.724.266	2,9	3,8
De los cuales, de origen urbano o asimilable	12.115.732	1,6	
Vertidos provenientes del río Jarama	588.812.368	79,6	
Vertidos autorizados totales "con carga orgánica destacable"	525.740.368	71,1	92,2
De los cuales, de origen urbano o asimilable	520.862.119	70,4	
Vertidos directos en el río Tajo entre Junta del Jarama y Toledo	15.509.042	2,1	
De los cuales, de origen urbano o asimilable	3.536.322	0,5	0,6
Vertidos por afluentes por la derecha entre la Junta del Jarama y Toledo	15.598.453	2,1	
De los cuales, de origen urbano o asimilable	15.468.428	2,1	2,7
Vertidos por afluentes por la izquierda entre la Junta del Jarama y Toledo	3.458.848	0,5	
De los cuales, de origen urbano o asimilable	3.458.848	0,5	0,6
Total vertidos	739.710.977	100,0	
Total vertidos con carga contaminante destacable	569.928.232		100,0

Fuente: Censo de vertidos autorizados (CHT, 2021). Elaboración propia

Si a esto se le suman los vertidos autorizados en el río Tajo hasta la ciudad de Toledo (Tabla 5), se deduce que la cuenca del río Tajo hasta Toledo soporta un volumen de 739,7 hm³/año. El río Jarama es el principal aporte en el río Tajo hasta la ciudad de Toledo, siendo responsable del 79,6 % de los mismos. De esos 739,7 hm³/año, 569,9 hm³/año son vertidos que se consideran con carga orgánica destacable, ya que su origen no es ni de piscifactoría, ni de central nuclear, ni de estación térmica, entre otros. Si se centra la atención en los vertidos autorizados con carga orgánica destacable, entonces, la responsabilidad del Jarama se eleva hasta el 92,2 % (véase Figura 6). En la Figura 6 puede apreciarse con claridad la magnitud de los vertidos autorizados en Madrid respecto del resto de la cuenca hasta Toledo.

Figura 6. Vertidos autorizados en la cuenca vertiente al río Tajo a su paso por Toledo. Isla de calor realizada a partir del volumen de vertido autorizado anual (m^3/s).



Fuente: Cátedra del Tajo UCLM-Soliss a partir de la información del Censo de Vertidos (CHT, 2021).

La información que nos ofrece la red de estaciones de aforo de la CHT en el tramo de estudio es contundente (véase Tabla 6 y Figura 6): entre un 68 % y un 72 % del agua que circula por el río Tajo en Toledo corresponde a vertidos autorizados, que, recuérdese, se corresponde con el máximo vertido permitido de aguas residuales, parecido al valor real de vertido. Si a estos les descontamos los vertidos industriales que no tienen una carga orgánica destacable (y que por su gran volumen pueden alterar la proporción), tendríamos que por el río Tajo en Toledo discurren entre un 52 % y un 65 % de aguas residuales. Por su parte, el río Jarama lleva un porcentaje de vertidos entre el 71 % y 73 %, mientras que el río Tajo, previo a su junta con el río Jarama, contiene un 43,5 %. Si se descuentan los vertidos sin carga orgánica destacable, como las piscifactorías, el río Jarama lleva un porcentaje de vertidos con carga orgánica destacable entre el 64 % y 65 %, mientras que el río Tajo, previo a su paso por Aranjuez, contiene, tan solo, un 4 %. Entre el resto de los afluentes en el Tajo medio, hay que destacar que el 100 % del agua que transcurre por sus cursos (arroyo Guatén, arroyo Guazaleta, arroyo Martín Román y río Algodor) son vertidos autorizados, no recibándose aportaciones considerables de aguas limpias en este tramo. Esto implica una prácticamente nula capacidad del tramo medio del río Tajo de dilución de la contaminación que recibe.

Nos encontramos, por tanto, en casi todos los casos, con ríos sobreexplotados en cuanto a los niveles de vertidos que soportan. Además, hay que considerar el carácter mediterráneo de su



régimen de caudales con unos fuertes estiajes, que hacen que en los meses de verano el porcentaje de vertidos sea considerablemente mayor en proporción, ya que las aportaciones naturales disminuyen mientras los vertidos tienen un régimen con pocas variaciones.

Tabla 6. Relación de caudales medios y vertidos autorizados en el tramo medio del río Tajo.

Estación	Caudal medio anual (m ³ /s)	Vertidos autorizados (m ³ /año) ***	% Vertidos autorizados sobre total	Vertidos autorizados con carga orgánica considerable (m ³ /año)*****	% Vertidos autorizados con carga orgánica considerable (%)*****
3258: Río Tajo en Embocador **	7,63	104.720.422 (3,32 m ³ /s)	43,55	110.112.422 (0,32 m ³ /s)	4,20
3174: Río Jarama en Puente Titulcia**	22,28	518.506.212 (16,44 m ³ /s)	73,80	455.434.212 (14,44 m ³ /s)	64,82
3175: Río Jarama en Aranjuez (Puente Largo) *	26,18	587.955.654 (18,64 m ³ /s)	71,21	524.883.654 (16,64 m ³ /s)	63,57
3014: Río Tajo en Puente Algodor **	34,11	732.295.675 (23,22 m ³ /s)	68,08	562.642.955 (17,84 m ³ /s)	52,31
3904: Río Tajo en Toledo*	32,41	739.057.846 (23,44 m ³ /s)	72,31	664.013.061 (21,06 m ³ /s)	64,97
3230: Río Algodor en Villamejor ****	0,044	1.384.814 (0,04 m ³ /s)	100,00	1.384.814 (0,04 m ³ /s)	100,00
3164: Arroyo Martín Román en Villasequilla de Yepes ****	0,016	496.473 (0,02 m ³ /s)	100,00	496.473 (0,02 m ³ /s)	100,00
3233: Río Guazalet en Valdecaba Baja ****	0,009	275.966 (0,01 m ³ /s)	100,00	275.966 (0,01 m ³ /s)	100,00
3232: Arroyo Guatén en Villaseca ****	0,4	12.465.548 (0,40 m ³ /s)	100,00	12.465.548 (0,40 m ³ /s)	100,00

*solo hay datos hasta 2009

** datos desde 2009 a 2019

***datos 2021

****caudales medios de los últimos 21 años disponibles: Algodor, Guazalet y Guatén (1999-2019); caudal medio de los últimos 20 años disponibles: San Martín Román (2000-2019)

***** vertidos urbanos más aquéllos industriales con carga orgánica (se exceptúan vertidos de piscifactoría, refrigeración y de industria térmica)

Fuente: Censo de Vertidos (CHT, 2021) y CEDEX (2020). Elaboración propia.

4.2. Análisis espaciotemporal de contaminantes en el tramo medio del río Tajo a través de la Red CEMAS

4.2.1 Concentración de nutrientes en el tramo medio del río Tajo

Con el objetivo de conocer el estado de calidad fisicoquímica del tramo medio del río Tajo, se han analizado los datos de nitratos, fosfatos y amonio en las estaciones de control de la red CEMAS. Se han recogido los datos de las seis estaciones situadas en el río Tajo entre Aranjuez y Toledo (Figura 4), junto con las cuatro existentes en afluentes en este tramo. Los resultados se presentan desde Aranjuez a Toledo. Estos datos se relacionan con las condiciones de



referencia y límites de cambio de clase de estado establecidas en la legislación española (BOE, 2015) para dar cumplimiento a los objetivos medioambientales (OMA) de la Directiva Marco del Agua.

La estación de **Aranjuez-Tajo I**, que recoge las aportaciones de la cabecera de la cuenca, muestra unas concentraciones bajas de los tres parámetros respecto a los niveles de referencia (Figura 7). A pesar del alto volumen de vertidos autorizados (43,5 %) no se aprecia una incidencia en la calidad del agua ya que los vertidos con carga contaminante sólo representan un 4,2 % del caudal medio circulante. Hay que señalar que esta estación es previa a los principales vertidos de Aranjuez (EDAR y una industria farmacéutica).

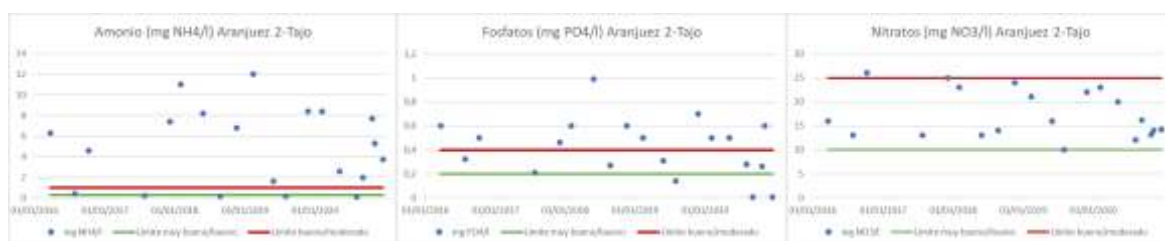
Figura 7. Concentración de nutrientes en la estación Aranjuez 1-Tajo y cumplimiento de objetivos medioambientales.



Fuente: Cátedra del Tajo UCLM-Soliss a partir de datos de la Red CEMAS (CHT, 2022a)

A trece kilómetros de esta, aguas abajo, se sitúa la estación **Aranjuez 2-Tajo** y, como puede apreciarse en la Figura 8, la situación es ya muy diferente, observándose una concentración de nutrientes muy superior, con valores por encima de las concentraciones máximas permitidas, sobre todo en fosfatos y en amonio. La explicación se encuentra por la confluencia del río Jarama con el río Tajo y el alto porcentaje de vertidos que llevan las aguas del Jarama (71,21 %), siendo los vertidos autorizados con carga contaminante considerable un 63,3 %. Las concentraciones de nutrientes del río Jarama (estación **Aranjuez-Jarama**) pueden observarse en la Figura 9, con valores que incumplen ampliamente los objetivos medioambientales para cada uno de estos parámetros.

Figura 8. Concentración de nutrientes en la estación Aranjuez 2-Tajo y cumplimiento de objetivos medioambientales.



Fuente: Cátedra del Tajo UCLM-Soliss a partir de datos de la Red CEMAS (CHT, 2022a).

Figura 9. Concentración de nutrientes en la estación Aranjuez-Jarama y cumplimiento de objetivos medioambientales.



Fuente: Cátedra del Tajo UCLM-Soliss a partir de datos de la Red CEMAS (CHT, 2022a).

La siguiente estación de control en el río Tajo es la de **Añover-Tajo**, situada a 8,7 kilómetros aguas abajo de Aranjuez 2-Tajo. En este punto se observa que siguen existiendo valores de concentración de fosfatos y amonio más elevados de lo permitido (Figura 10). En este tramo, el río Tajo recibe vertidos provenientes del arroyo Borox (1,3 hm³/año), el cual carece de estación de control de calidad.

Figura 10. Concentración de nutrientes en la estación Añover-Tajo y cumplimiento de objetivos medioambientales.

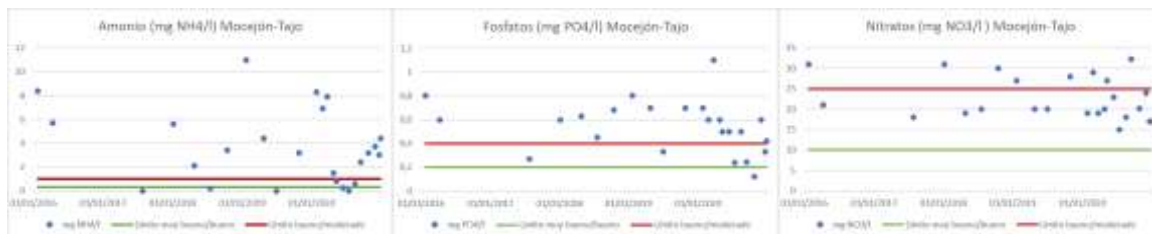


Fuente: Cátedra del Tajo UCLM-Soliss a partir de datos de la Red CEMAS (CHT, 2022a).

A unos 28 kilómetros aguas abajo del río Tajo, se encuentra la estación **Mocejón-Tajo**. La mayor parte de los controles siguen dando niveles por muy por encima de lo permitido de fosfato y amonio (Figura 11). En cuanto a los nitratos, en este punto se alcanzan algunos valores superiores a los objetivos medioambientales, observándose un claro incremento respecto a la estación anterior, con valores similares a los del Jarama. En el tramo comprendido entre las estaciones de Añover-Tajo y Mocejón-Tajo se recoge un volumen de vertido autorizado de 13,86 hm³/año proveniente de los arroyos Gonzalo, Guatén y Martín Román, así como de vertidos directos al río Tajo en este tramo (las cifras antes de la agregación pueden consultarse en la Figura 19). En el arroyo Guatén se encuentra la estación de control Guatén-Villaseca, con unas concentraciones de fosfatos y amonio muy superiores de las que lleva el río Tajo (Figura 12). Relevante resulta la mala calidad de las aguas de la zona de la Sagra, en los arroyos de la margen derecha del río Tajo, si bien representan un 2,1 % del total de los vertidos hasta Toledo. Asimismo, en el arroyo Martín Román se sitúa la estación de Martín Román-Villasequilla, la cual muestra concentraciones de nitratos mayoritariamente superiores a lo permitido, estando los fosfatos y amonio dentro de los límites legales (Figura 13). Finalmente, la estación de Guazalet-Tajo solo ofrece datos de dos días en abril y mayo de 2020, por lo que no pueden extraerse conclusiones sobre el grado de afección de este curso (Figura 14).



Figura 11. Concentración de nutrientes en la estación Mocejón-Tajo y cumplimiento de objetivos medioambientales.



Fuente: Cátedra del Tajo UCLM-Soliss a partir de datos de la Red CEMAS (CHT, 2022a).

Figura 12. Concentración de nutrientes en la estación Villaseca-Guatén y cumplimiento de objetivos medioambientales.



Fuente: Cátedra del Tajo UCLM-Soliss a partir de datos de la Red CEMAS (CHT, 2022a).

Figura 13. Concentración de nutrientes en la estación Villasequilla-Martín Román y cumplimiento de objetivos medioambientales.



Fuente: Cátedra del Tajo UCLM-Soliss a partir de datos de la Red CEMAS (CHT, 2022a).

Figura 14. Concentración de nutrientes en la estación Toledo-Guazaleté y cumplimiento de objetivos medioambientales.

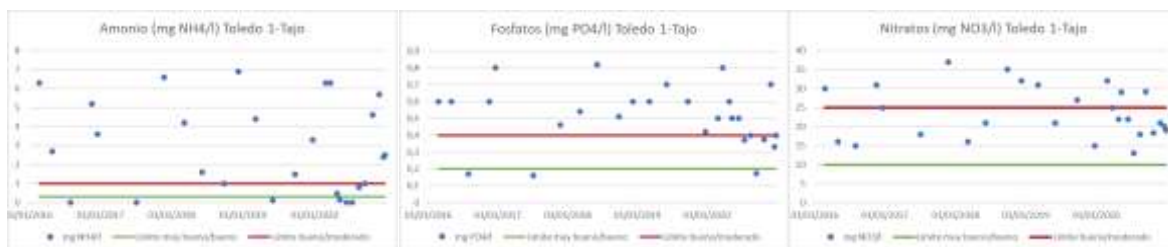


Fuente: Cátedra del Tajo UCLM-Soliss a partir de datos de la Red CEMAS (CHT, 2022a).

La siguiente estación de control del río Tajo, ya en Toledo (**Toledo 1-Tajo**) se encuentra pasado el barrio toledano de Santa María de Benquerencia, a las puertas del casco histórico de Toledo. Este barrio es actualmente el principal núcleo de población de la capital y cuenta con un importante polígono industrial. La EDAR de Santa María de Benquerencia tiene un volumen de

vertido autorizado anual de 2,75 hm³ directo al Tajo. La Figura 15 muestra en este punto, ya dentro del municipio de Toledo, unas concentraciones de fosfatos y amonio superiores a los límites de las normas de calidad ambiental en la mayor parte de los días con mediciones. En cuanto a los nitratos estos valores se sitúan fuera del rango legal del buen estado en el 44 % de las muestras. Además, en este tramo, se reciben vertidos de los arroyos de Algodor, Ramabujas, Los Pucheros y La Rosa (4,53 hm³/año de vertidos en total). La única estación de control en estos afluentes es la de Aranjuez-Algodor, situada en el arroyo Algodor poco antes de su unión al río Tajo. Presenta unas altas concentraciones de nitratos, pero con los valores de amonio y fosfatos dentro de lo permitido (Figura 16).

Figura 15. Concentración de nutrientes en la estación Toledo 1-Tajo y cumplimiento de objetivos medioambientales.



Fuente: Cátedra del Tajo UCLM-Soliss a partir de datos de la Red CEMAS (CHT, 2022a).

Figura 16. Concentración de nutrientes en la estación Aranjuez-Algodor y cumplimiento de objetivos medioambientales.



Fuente: Cátedra del Tajo UCLM-Soliss a partir de datos de la Red CEMAS (CHT, 2022a).

La última estación de control se sitúa pasado el casco histórico de Toledo (estación Toledo 2-Tajo). En la Figura 17 se observa una tendencia muy similar a la de las anteriores estaciones en el río Tajo, con la mitad de los días con mediciones altas de nitratos (muy superiores al límite de concentración permitido) y con los fosfatos y amonio con concentraciones muy considerables. En el tramo comprendido por las dos estaciones toledanas se da un volumen de vertido autorizado de 0,1 hm³/año, con su origen en los arroyos de La Degollada y La Cañada, si bien se tienen detectados 10 puntos de vertido no autorizado directos al río Tajo en el municipio de Toledo (Cátedra del Tajo UCLM-Soliss, 2023).



Figura 17. Concentración de nutrientes en la estación Toledo 2-Tajo y cumplimiento de objetivos medioambientales.



Fuente: Cátedra del Tajo UCLM-Soliss a partir de datos de la Red CEMAS (CHT, 2022a).

Analizando la mediana de las mediciones de los años 2016 a 2020 en cada una de las estaciones del río Tajo (incluyendo la estación Aranjuez-Jarama) se aprecia una manera más clara la concentración de nutrientes que soporta el río (Figura 18). Se observa un aumento paulatino de las concentraciones de nitratos a medida que nos acercamos a la ciudad de Toledo, llegando en la estación Toledo 2-Tajo a superar la mediana el nivel de concentración permitido, lo que indica que la mitad de los días medidos se sufre una concentración de nitratos en el agua del Tajo a su paso por Toledo superior al valor máximo permitido. Las medianas de las concentraciones de fosfatos desde la confluencia del río Jarama con el río Tajo son superiores a la máxima concentración permitida (entre un 25 y un 50 % más), indicando que la mitad de los días medidos se ha estado muy por encima del límite legal. El amonio también muestra unos niveles muy altos mantenidos desde el mismo punto, superándose la mitad de los días entre 3 a 5 veces el límite legal.

Figura 18. Medianas de mg de nitratos (NO₃/l), fosfatos (PO₄/l) y amonio (NH₄/l) en las estaciones CEMAS del tramo medio del río Tajo (años 2016-2020) y cumplimiento de objetivos medioambientales.



Fuente: Cátedra del Tajo UCLM-Soliss a partir de datos de la Red CEMAS (CHT, 2022a).

En definitiva, el tramo medio del río Tajo soporta unas concentraciones de nutrientes que superan los límites permitidos desde la incorporación del río Jarama, siendo esta la principal fuente de contaminación por nutrientes (a excepción de los nitratos, cuya concentración aumenta).

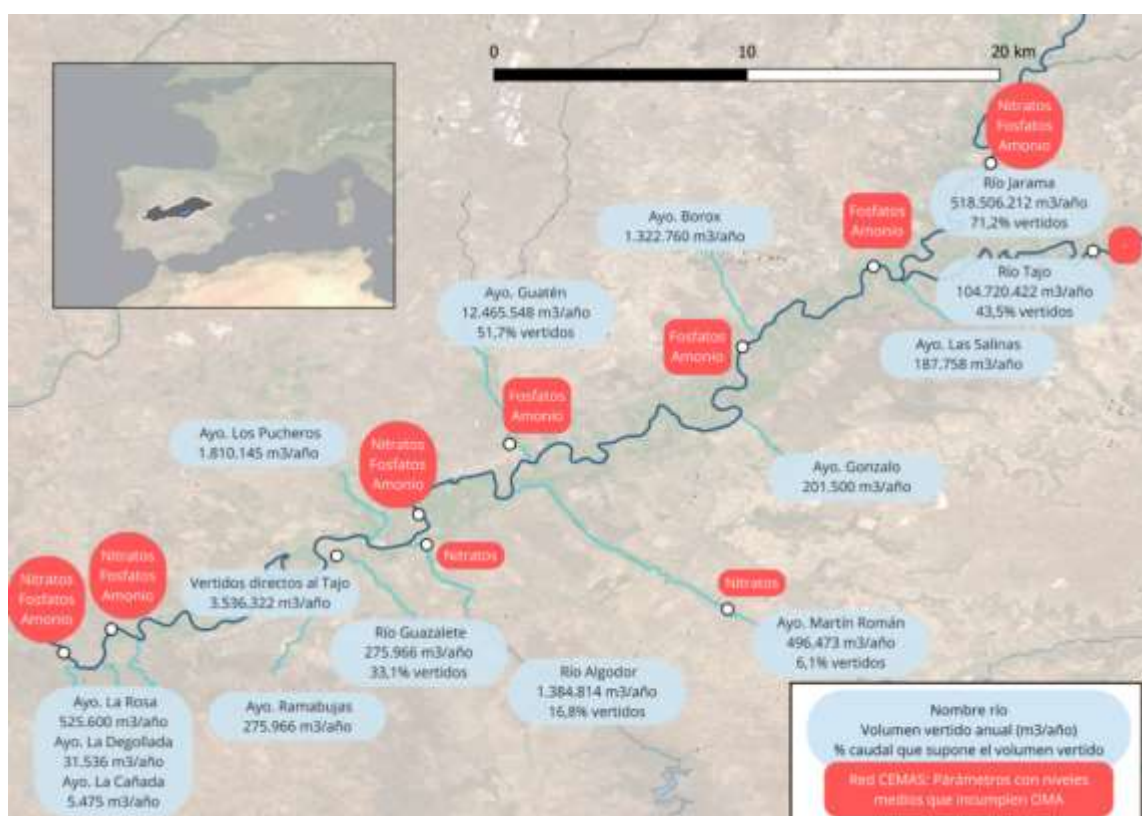
Se observa también que el río Tajo, antes de su confluencia con el Jarama, pese al alto porcentaje de vertidos (el 43,5 % de su caudal medio proviene de vertidos autorizados), no afecta al cumplimiento de los objetivos medioambientales de los valores fisicoquímicos, ya que sólo el 4,2 % son vertidos con carga orgánica considerable. Hay que indicar, además, el efecto positivo en la concentración de nutrientes de la dilución de las aguas del río Jarama en las aguas del río Tajo procedentes de Aranjuez. No obstante, tras la incorporación del Jarama, el río Tajo en su tramo medio mantiene las concentraciones de amonio y fosfatos en niveles altos

de forma constante por encima de los niveles permitidos. Un elemento que no ha podido ser analizado a partir de los datos disponibles es la incidencia de la contaminación difusa en las concentraciones ascendentes de nitratos.

Respecto a la contaminación difusa debida a las actividades agropecuarias, la Confederación Hidrográfica del Tajo indica que el mal estado de la mayor parte de las aguas afectadas por nitratos “no es directamente achacable a las mismas, sino que es más probable que sean resultado de la interacción de presiones procedentes de diferentes fuentes” (CHT, 2020).

En la Figura 19 se aprecia el impacto que las distintas fuentes de contaminación tienen sobre el río Tajo en su tramo medio.

Figura 19. Vertidos totales autorizados al año en el tramo medio del río Tajo. Se incluye la aportación inicial del Jarama y del propio Tajo antes de la desembocadura.



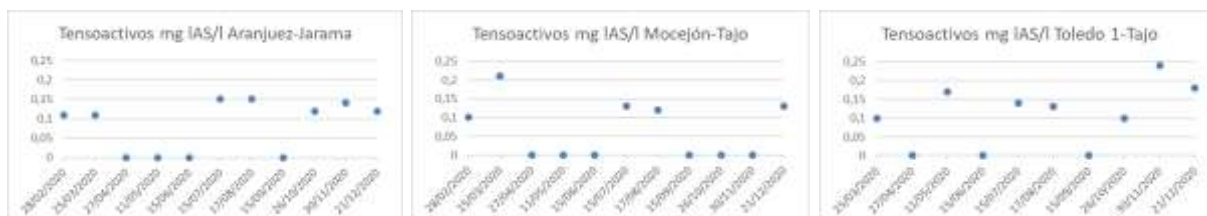
Fuente: Cátedra del Tajo a partir de los datos del Censo de Vertidos (CHT, 2021)

4.2.2. Concentraciones del tensoactivo sulfonato de alquilbenceno lineal en el tramo medio del río Tajo

Como se ha indicado, la red CEMAS solo recoge la presencia de tensoactivos en la zona de estudio en 2020, estando esta limitada a sulfonato de alquilbenceno lineal (LAS). En el ámbito, solo hay datos en las estaciones de Aranjuez 1-Tajo, Aranjuez-Jarama, Mocejón-Tajo y Toledo 1-Tajo. Para la primera estación no hay presencia significativa de LAS (todos los registros son

menores de 0,1 mg/l). Los resultados en el resto de las estaciones se muestran en la Figura 20.

Figura 20. Concentración de sulfonato de alquilbenceno lineal (mg/l) en las estaciones de la Red CEMAS de Aranjuez-Jarama, Mocejón-Tajo y Toledo 1-Tajo.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Red CEMAS (CHT, 2022a).

Dada la ausencia de datos de otros tensoactivos, así como de una serie espaciotemporal más amplia, no es posible realizar un análisis de los datos sin peligro de caer en errores.

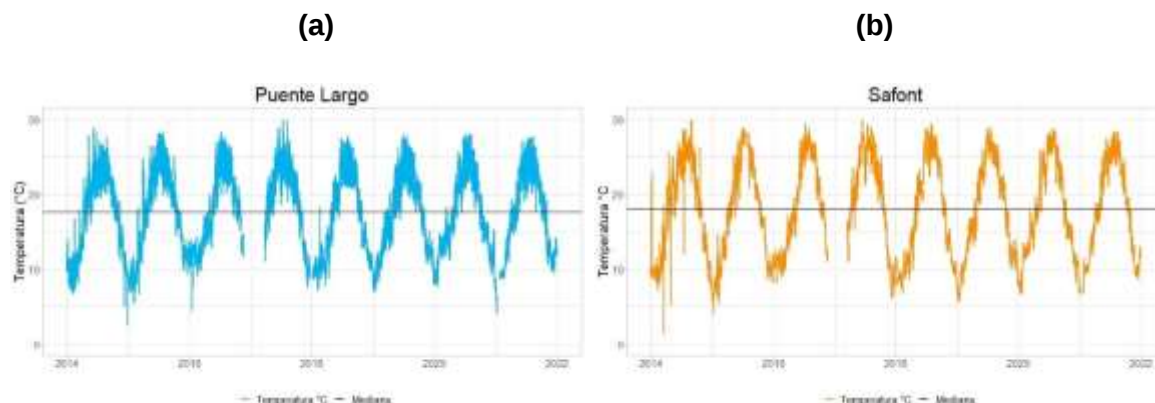
4.3. Análisis temporal de parámetros fisicoquímicos en las estaciones de Safont (río Tajo en Toledo) y Puente Largo (río Jarama en Aranjuez). Comparativa en el periodo 2013-2022

Con el fin de tener un análisis más detallado del origen de la contaminación del río Tajo en Toledo se recurre a los datos quinceminutales de la serie larga de la Red SAICA (CHT, 2022b) desde el 1 de enero de 2014 hasta el 31 de diciembre de 2021, años completos disponibles, excepto el 2017 que ha sido eliminado completo por estar disponibles los datos solo desde el mes de enero al mes de abril. En esta sección se analiza comparativamente la serie de datos de temperatura, pH, conductividad, oxígeno, además de amonio, fosfatos y nitratos en las estaciones que, a la vista de estudio anterior con datos de la Red CEMAS (2022a), se han considerado clave: Puente Largo, en el río Jarama antes de la desembocadura en el Tajo, y Safont, en el río Tajo a su paso por el municipio de Toledo. Para cada parámetro se representan sus valores quinceminutales y la mediana correspondiente (aquel valor tal que la mitad de los datos son menores que él y la otra mitad, mayores).

Comenzando por la temperatura del agua, en la Figura 21 se observa la variación temporal normal de las temperaturas a lo largo de las estaciones del año, con máximos en los meses de verano y mínimas en invierno, como corresponde a un clima mediterráneo. Respecto a las temperaturas medianas, no se observan diferencias entre ambas estaciones (Figura 22).



Figura 21. Variación de la temperatura (° C) en las estaciones de Puente Largo (a) y de Safont (b) de la Red SAICA (2014-2021).



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Red SAICA (CHT, 2022b).

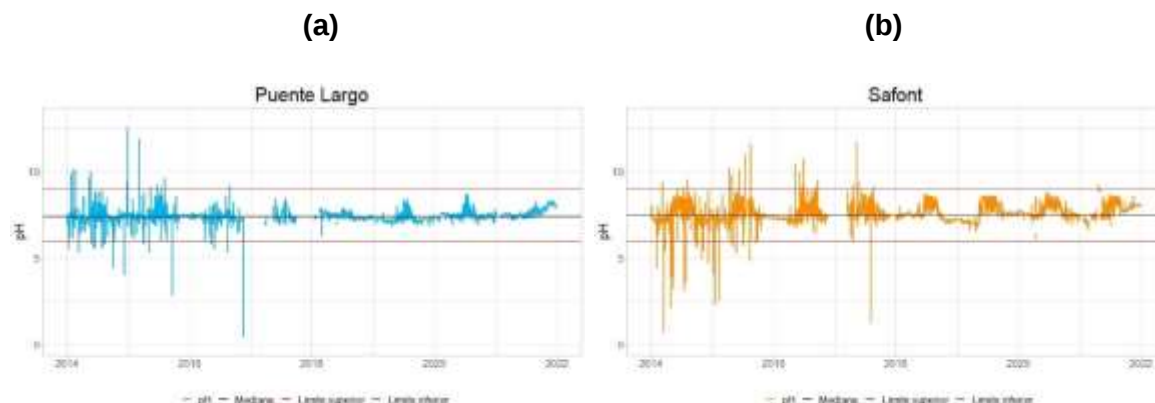
Figura 22. Comparación de las medianas anuales de la temperatura (° C) en las estaciones de Puente Largo y de Safont de la Red SAICA (2014-2021)



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Red SAICA (CHT, 2022b).

En cuanto al pH, se observan grandes fluctuaciones en los datos hasta 2017, que podrían estar relacionados con fallos en la realización de las medidas. A partir de ese año no se observan estos saltos. Los valores son muy similares entre ambas estaciones, siendo el pH, en mediana, ligeramente más alto en la estación de Safont (Figuras 23 y 24).

Figura 23. Variación del pH en las estaciones de Puente Largo (a) y de Safont (b) de la Red SAICA (2014-2021).



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Red SAICA (CHT, 2022b).

Figura 24. Comparación de las medianas de pH en las estaciones de Puente Largo y de Safont de la Red SAICA (2014-2021).

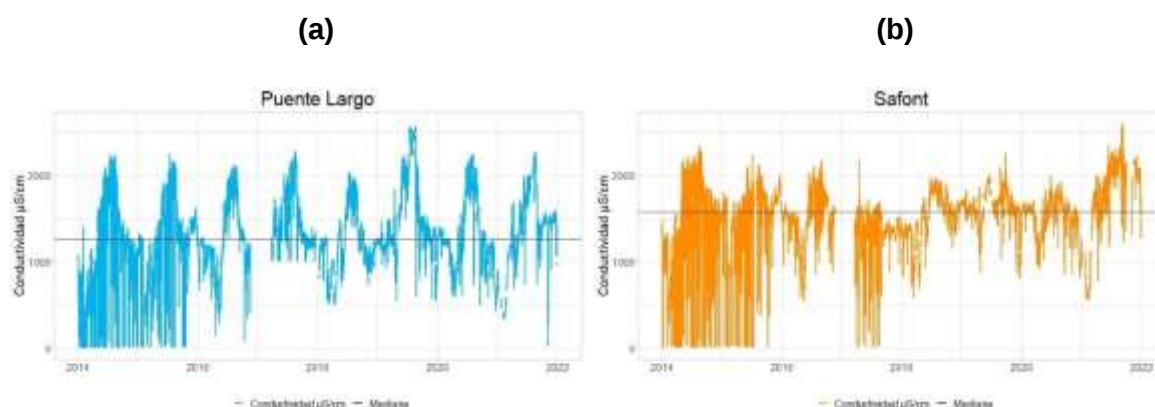


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Red SAICA (CHT, 2022b).

La conductividad es un indicador fisicoquímico previsto en la Directiva Marco del Agua pero no utilizado en España debido a que presenta una variabilidad natural muy acusada (MITERD, 2021). Encontramos que los valores en ambas estaciones son frecuentemente muy altos (véanse figuras 25 y 27). Valores tan altos en cuanto a la conductividad pueden ser debidos a concentraciones por iones procedentes de contaminación antrópica, en este caso presumiblemente de amonio, nitratos y fosfatos, o a fuentes naturales por las características geológicas de la cuenca, por disolución de cloruro sódico o por flujo de descarga de agua salada subterránea, procedente del contacto del río con los Montes de Toledo. Debido a estas características de salinidad propias de la zona, la hipótesis más plausible es la suma de ambos motivos.

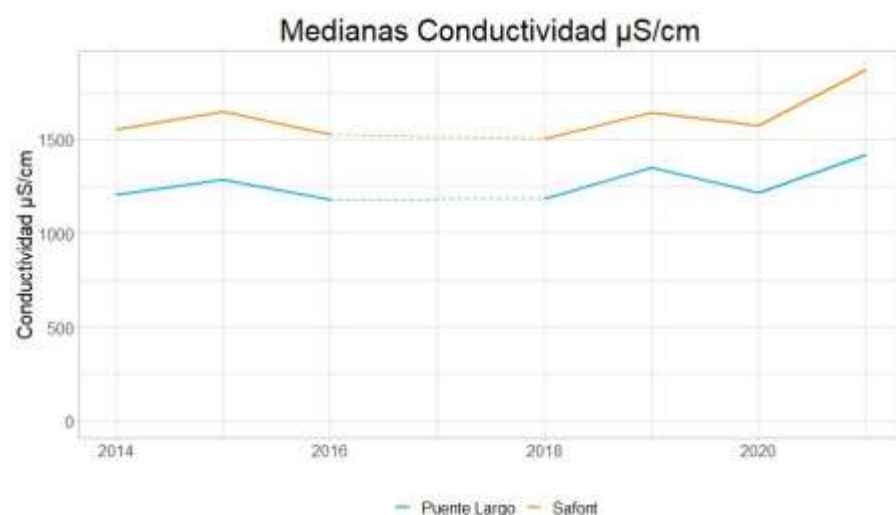
El estudio de las medianas nos muestra que en el río Tajo en Safont se registra un valor mediano de conductividad más alto que en el río Jarama, que puede tener su origen en el flujo de descarga de agua salada citado. No obstante, no se descarta la influencia de la posible presencia de otras fuentes de contaminación en el tramo de río Tajo entre Aranjuez y Toledo que pueden estar afectando a este parámetro en concreto.

Figura 25. Variación de la conductividad ($\mu\text{S/cm}$) en las estaciones de Puente Largo (a) y de Safont (b) de la Red SAICA (2014-2021).



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Red SAICA (CHT, 2022b).

Figura 26. Comparación de las medianas de conductividad ($\mu\text{S/cm}$) en las estaciones de Puente Largo y de Safont de la Red SAICA (2014-2021).



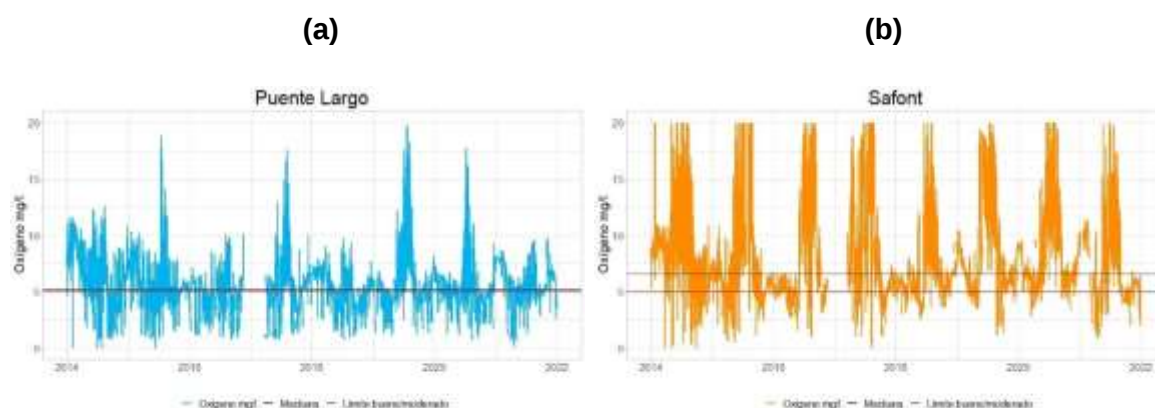
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Red SAICA (CHT, 2022b).

El oxígeno disuelto en agua es un indicador de la capacidad del río para soportar la vida aeróbica, y valores bajos de concentración están asociados a la presencia de materia orgánica. La legislación (BOE, 2015) establece el límite del buen estado en 5 mg/l; por debajo de este valor se considera insuficiente para el ecosistema, resultando por debajo de 3 dañino para la

mayor parte de las especies. En Puente Largo, el 44,8 % de los valores está por debajo del valor de referencia, mientras que en Safont este porcentaje se sitúa en el 20,9 %, porcentajes altos de incumplimiento. Esto indicaría una mayor oxigenación de las aguas en Safont, que puede ser indicativo de una mejor calidad del agua del Tajo en Toledo que la del Jarama en su desembocadura, aunque de aquí no puede deducirse que la primera sea buena. Este resultado es una nueva muestra del mal estado de las aguas que provienen del Jarama, que son capaces de recuperarse parcialmente en su camino hacia Toledo, en parte por procesos de autodepuración e incorporación de flujos menos contaminados (Figura 27).

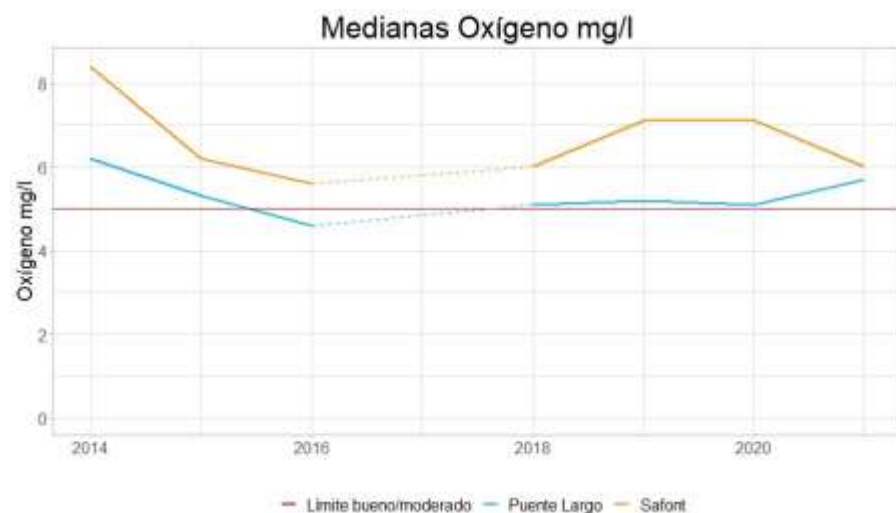
En el estudio de las medianas por año se observa que el oxígeno está por encima de los valores de referencia, especialmente en la estación de Safont. En el año 2016 la mediana de Puente Largo desciende de los 5 mg/l, quedando muy próxima al valor límite (Figura 28).

Figura 27. Variación de oxígeno disuelto (mg/L) en las estaciones de Puente Largo (a) y de Safont (b) de la Red SAICA (2014-2021).



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Red SAICA (CHT, 2022b).

Figura 28. Comparación de las medianas de oxígeno disuelto (mg/l) en las estaciones de Puente Largo (izquierda) y de Safont (derecha) de la Red SAICA (2014-2021).

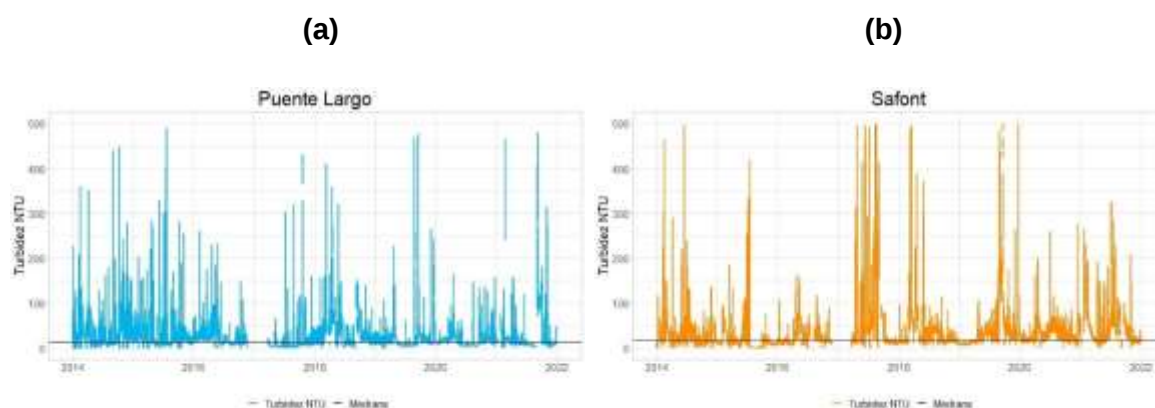




Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Red SAICA (CHT, 2022b).

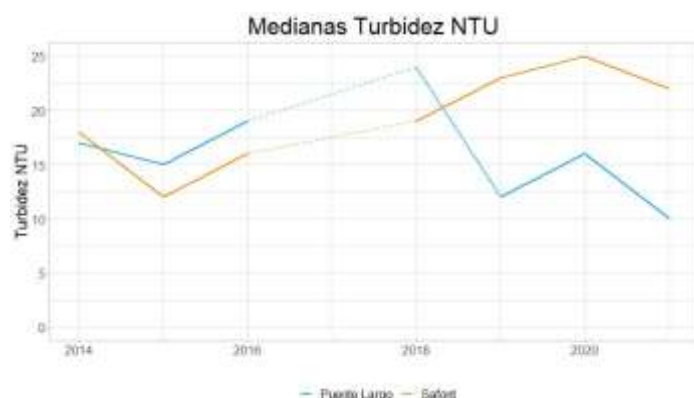
En cuanto a la turbidez, los datos SAICA muestran unos valores puntuales y medios altos (Figura 29). A modo de aclaración, las normas de calidad ambiental del BOE (2015) no dan indicadores de referencia sobre este parámetro para la valoración de la calidad de las masas de agua. Para las aguas potables se establece un valor de referencia de 0,8 UNF a la salida de la estación potabilizadora o depósito de cabecera, siendo el valor de aptitud de 2 UNF en estas y de 6 UNF en la red de abastecimiento (BOE, 2023). Para aguas reutilizadas de clase A para uso agrícola el límite legal se sitúa en 10 UNF (DOUE, 2020). En las gráficas para cada estación observamos picos puntuales muy altos, de en torno a 500 UNF en el caso de Puente Largo y llegando a los 1000 UNF en Safont. No obstante, como se puede observar en la Figura 32, las medianas anuales de UNF para las dos estaciones se sitúan por debajo de los 25 UNF. Hay que tener en cuenta que este parámetro también está relacionado con causas naturales: cuando aumenta el caudal, también lo hace los sólidos en suspensión y esto hace que aumente la turbidez, pero no tiene por qué ser indicativo de peor estado.

Figura 29. Variación de turbidez (UNF) en las estaciones de Puente Largo (a) y de Safont (b) de la Red SAICA (2014-2021).



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Red SAICA (CHT, 2022b).

Figura 30. Comparación de las medianas de turbidez (UNF) en las estaciones de Puente Largo y de Safont de la Red SAICA (2014-2021).



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Red SAICA (CHT, 2022b).



En cuanto al parámetro amonio, tanto el río Jarama en Aranjuez como el Tajo a su paso por Toledo superan habitualmente los valores del buen estado de las aguas del RD 817/2005 (BOE,2015). En el caso del Jarama, el 88,6 % de los datos quinceminutales, es decir, el 88,6 % del tiempo transcurrido en estos ocho años completos considerados en el estudio, el amonio de encontró en una concentración mayor que la permitida por la legislación. Esta cifra sigue siendo muy alta en el caso del Tajo a su paso por Toledo, el 73,8 %. Pero es que el 84,2 % del tiempo, esa concentración en el Jarama superó el doble de lo permitido (un 63,5 % en el Tajo en Toledo), hasta llegar a un máximo de 39,2 mg/l en el Jarama en Aranjuez y de 50 mg/l en el Tajo en Toledo, lo que supone que ha llegado a estar más de 65 veces por encima del valor máximo permitido, que recordemos que en Puente Largo es 0,6 mg/l, y 50 veces por encima del valor máximo permitido en Safont (que es de 1 mg/l).

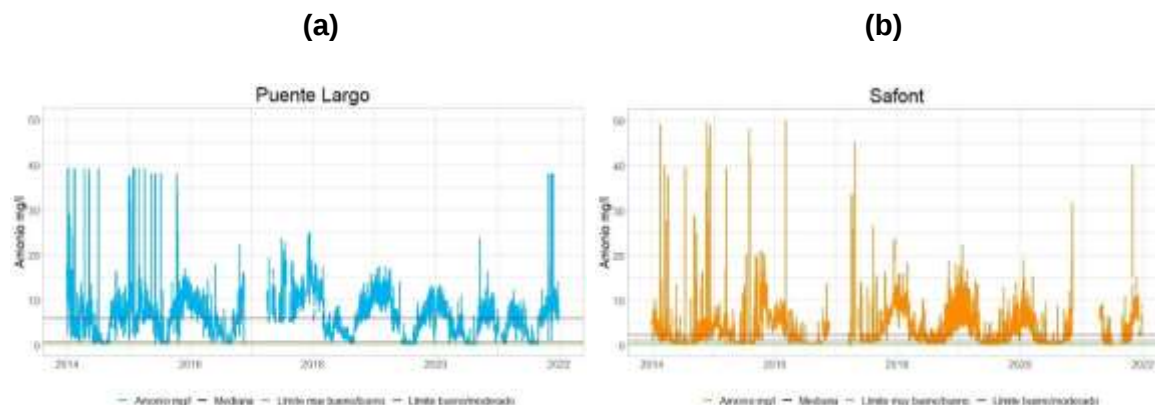
El amonio es el indicador más claro de contaminación urbana, de todos los que aparecen en este estudio. Los valores tan elevados de amonio, salvo que haya vertidos directos de instalaciones ganaderas o similares, son indicadores de vertidos urbanos con una depuración incompatible con el buen estado de las aguas receptoras. En el análisis de ambas estaciones de la serie completa (2014-2021) se observa cómo se superan los límites de referencia del buen estado (Figura 31). En el caso de Puente Largo, la mediana de toda la serie se sitúa en 5,7 mg/l. Teniendo en cuenta que el límite del buen estado está en 0,6 mg/l, la mediana es 9,5 veces superior y, por tanto, esto quiere decir que la mitad de las medidas se ha superado 9,5 veces el valor máximo permitido. En Safont la mediana es 2,2 mg/l, luego, con un valor de referencia de 1 mg/l, esto implica que la mitad del tiempo la concentración de amonio ha estado por encima de 2,2 veces el valor máximo permitido. Recuérdese que los valores de referencia de este parámetro dependen del tipo de masa de agua: para las masas de agua tipo río RT16 (como es el caso del Jarama en Puente Largo) se establece un valor de límite de buen estado a moderado en 0,6 mg/l mientras que para las masas de agua tipo río RT 17 (caso del Tajo en Toledo) se establece en 1 mg/l (véase Tabla 3).

Quizás más llamativos son los picos extremos con los que nos encontramos. En Puente Largo existen numerosos datos que alcanzan los 39 mg/l, es decir, 65 veces superiores a las concentraciones de amonio de referencia del buen estado. Igualmente, en la estación de Safont estos picos llegan a los 50 mg/l, 50 veces más que las concentraciones permitidas.

La gráfica comparativa de las medianas anuales muestra que el amonio está por encima de los valores de referencia en ambas estaciones, pero muy especialmente en la estación de Puente Largo (Figura 32). Ambas medianas se mantienen en paralelo prácticamente durante todo el periodo, experimentando una subida en ambos casos en 2015. La falta de datos en Safont a finales de 2020 y principios de 2021 hace que no se puedan extraer conclusiones válidas, ya que la mediana en esos años, así como la general del conjunto del periodo es artificialmente más baja. No obstante, la comparación de las gráficas completas sí permite afirmar la presencia de concentraciones de amonio puntuales más altas en Safont que en Puente Largo, lo que viene a confirmar la tesis de la existencia de fuentes de contaminación intermedias, entre Aranjuez y Toledo, que harían superar aún más los incumplimientos provenientes del Jarama.

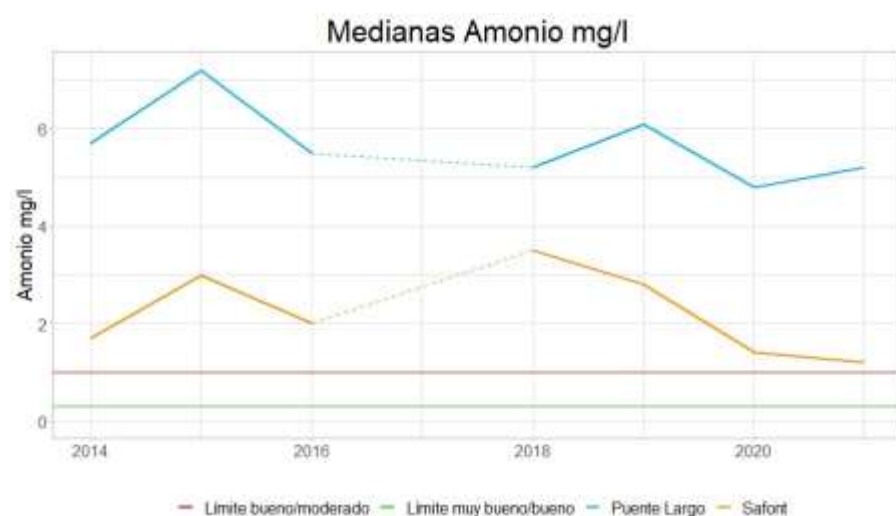
Estos datos de alta concentración de amonio en el Tajo en Toledo confirman la hipótesis de que los altos datos de conductividad son debidos a la contaminación como motivo adicional a la presencia del flujo de descarga de agua salada.

Figura 31. Variación de amonio (mg/l) en las estaciones de Puente Largo (a) y de Safont (b) de la Red SAICA (2014-2021).



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Red SAICA (CHT, 2022b).

Figura 32. Comparación de las medianas de amonio (mg/l) en las estaciones de Puente Largo (izquierda) y de Safont (derecha) de la Red SAICA (2014-2021).

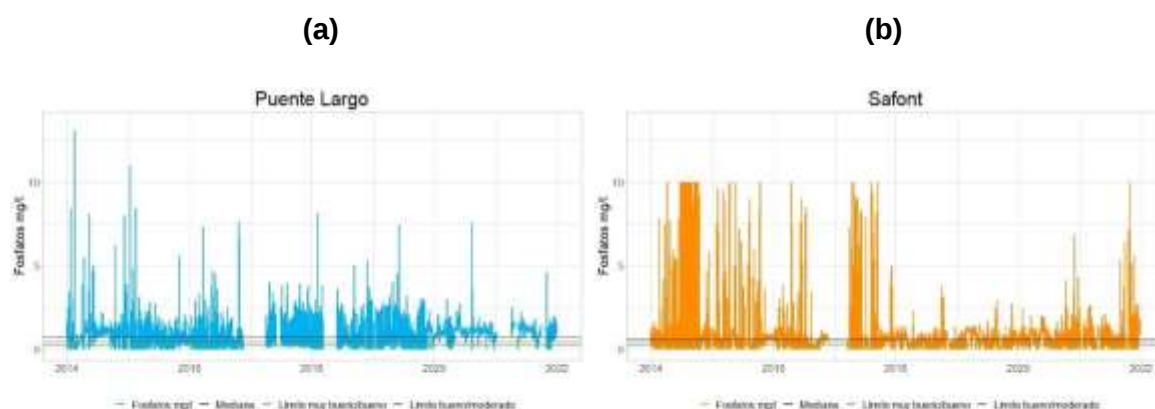


Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Red SAICA (CHT, 2022b).

En la Figura 33 puede observarse que en una gran cantidad de periodos los fosfatos sobrepasan los valores que el Real Decreto 817/2005 considera como buenos. En el caso de Puente Largo, la mediana de toda la serie se sitúa en 0,7 mg/l y en Safont en 0,6 mg/l, lo que indica que la mitad del tiempo se ha estado sensiblemente por encima de la concentración máxima permitida (0,4 mg/l en ambos casos), por lo que nos encontramos ante un incumplimiento generalizado de los límites de referencia: el 76,9 % del tiempo en Puente Largo y el 74,0 % del tiempo en Safont se ha incumplido la normativa vigente, e incluso el 46,3 % en Puente Largo y el 34,6 % en Safont se ha superado el doble del máximo legal permitido. En cuanto a los valores máximos, en Puente Largo se alcanza una concentración de 13,1 mg/l y valores recurrentes entre 2 y 8 mg/l para todos los años de la serie. En el caso de Safont,

existen numerosos episodios cortados en 10 mg/l hasta 2017 (máxima capacidad de medición técnica, según ha sido comunicado por la CHT), así como subidas recurrentes de más de 2 mg/l en todos los años de la serie. Hay que añadir que no se observan correlaciones temporales, en todos los casos, entre los valores máximos de Puente Largo y Safont, de donde se puede deducir que a partir de Puente Largo hay fuentes puntuales que aportan fosfatos al río Tajo antes de llegar a Toledo.

Figura 33. Variación de fosfatos (mg/l) en las estaciones de Puente Largo (a) y de Safont (b) de la Red SAICA (2014-2021).



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Red SAICA (CHT, 2022b).

En la gráfica de los valores medianos de cada año, se puede observar que ambas estaciones están por encima de los valores del Real Decreto 817/2005 en todos los años (Figura 34). De 2015 a 2019 la mediana de la concentración de fosfatos en Safont ha sido superior a la de Puente Largo, de donde se podría deducir que Safont tiene fuentes de fosfatos adicionales que intervienen en la calidad del río Tajo al margen de la contaminación que ya proviene del río Jarama. Analizando la gráfica comparativa del año 2021 (véase Anexo) se comprueba la falta de datos en la estación de Puente Largo durante ese año, por lo que este dato de 2021 debe ser tomado con cautela.

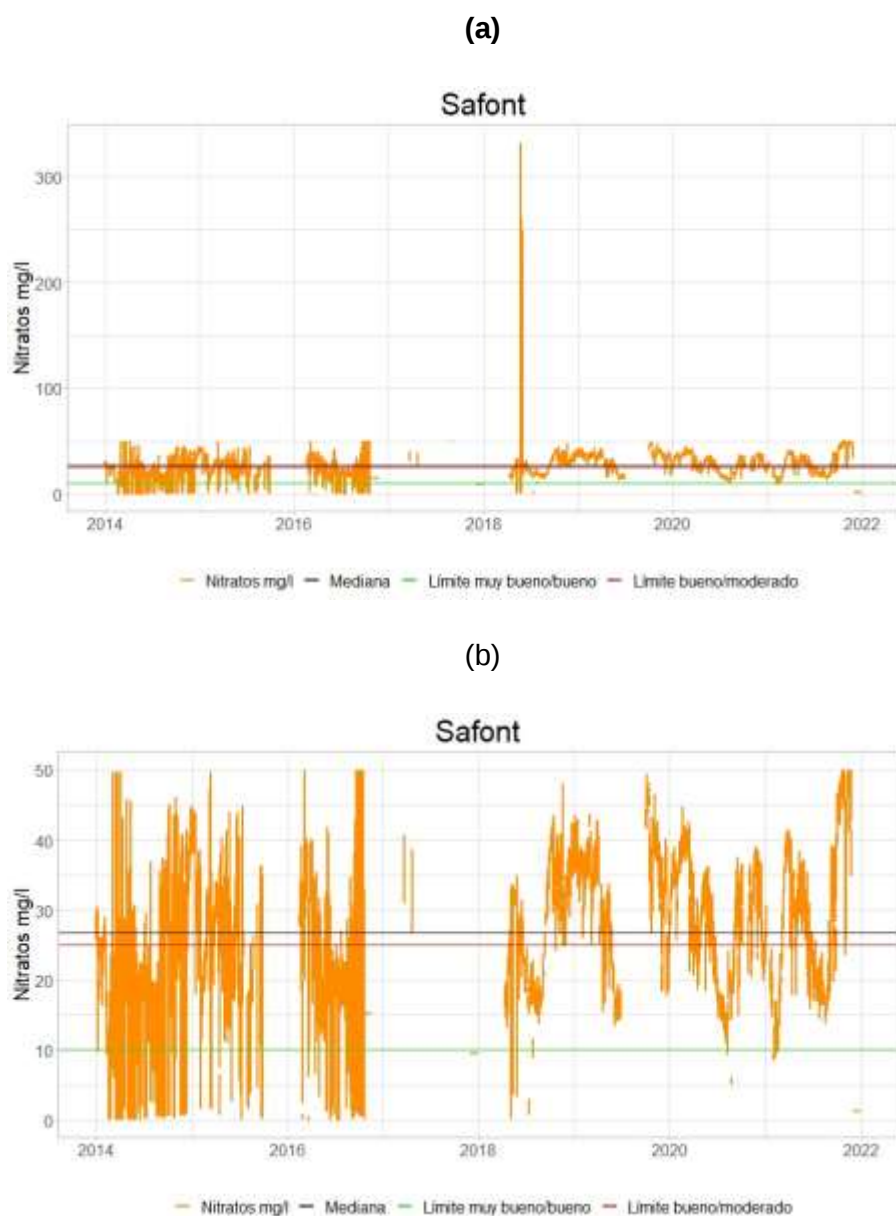
Figura 34. Comparación de las medianas de fosfatos (mg/l) en las estaciones de Puente Largo y de Safont de la Red SAICA (2014-2021).



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Red SAICA (CHT, 2022b).

Respecto a los nitratos, el análisis comparativo no ha sido posible, ya que en la estación de Puente Largo no se dispone de datos; solo están disponibles en Safont. En la Figura 35 se aprecia que una gran cantidad de datos (56,50 %) sobrepasa el valor de referencia de nitratos (BOE, 2015) para valorar esas aguas en buen estado bueno (25 mg/l). Esto es indicativo del grado de contaminación del río Tajo a su paso por Safont. Además, se observa un gran pico que podría tener relación con una descarga puntual o con fallos técnicos en los aparatos de medición (máximo alcanzado de 332 mg/l). El hecho de no contar con datos de nitratos en las estaciones aguas arriba impide detectar el origen de la fuente.

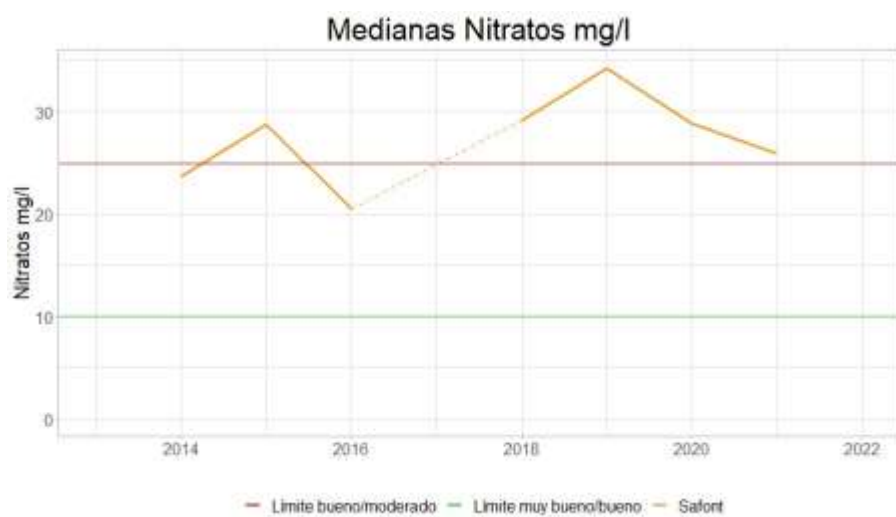
Figura 35. Variación de nitratos (mg/l) en la estación SAICA de Safont (2014-2021). (a) Serie completa; (b) serie en la que han suprimido los valores >100 mg/l.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Red SAICA (CHT, 2022b).

En el análisis de las medianas anuales, se observa que salvo los años 2013, 2014 y 2016, el resto de los años las medianas han estado por encima de los valores de referencia, indicando valores que impiden alcanzar buen estado (Figura 36). Obsérvese que mientras que el 56,50 % del tiempo la concentración de nitratos en Safont se encuentra por encima de la permitida, sin embargo, solo el 1,10 % del tiempo dicha concentración se ha encontrado por encima del doble de lo permitido debido a que los datos parecen tener su límite máximo de cuantificación en 50, por cuestiones técnicas, según la información facilitada por la CHT. Merece la pena destacar también que el 25 % del tiempo la concentración de nitratos se ha encontrado por encima de 34,3 mg/l.

Figura 36. Comparación de las medianas de nitratos (mg/l) en la estación SAICA de Safont (2016-2021). Fuente CHT. Elaboración propia.

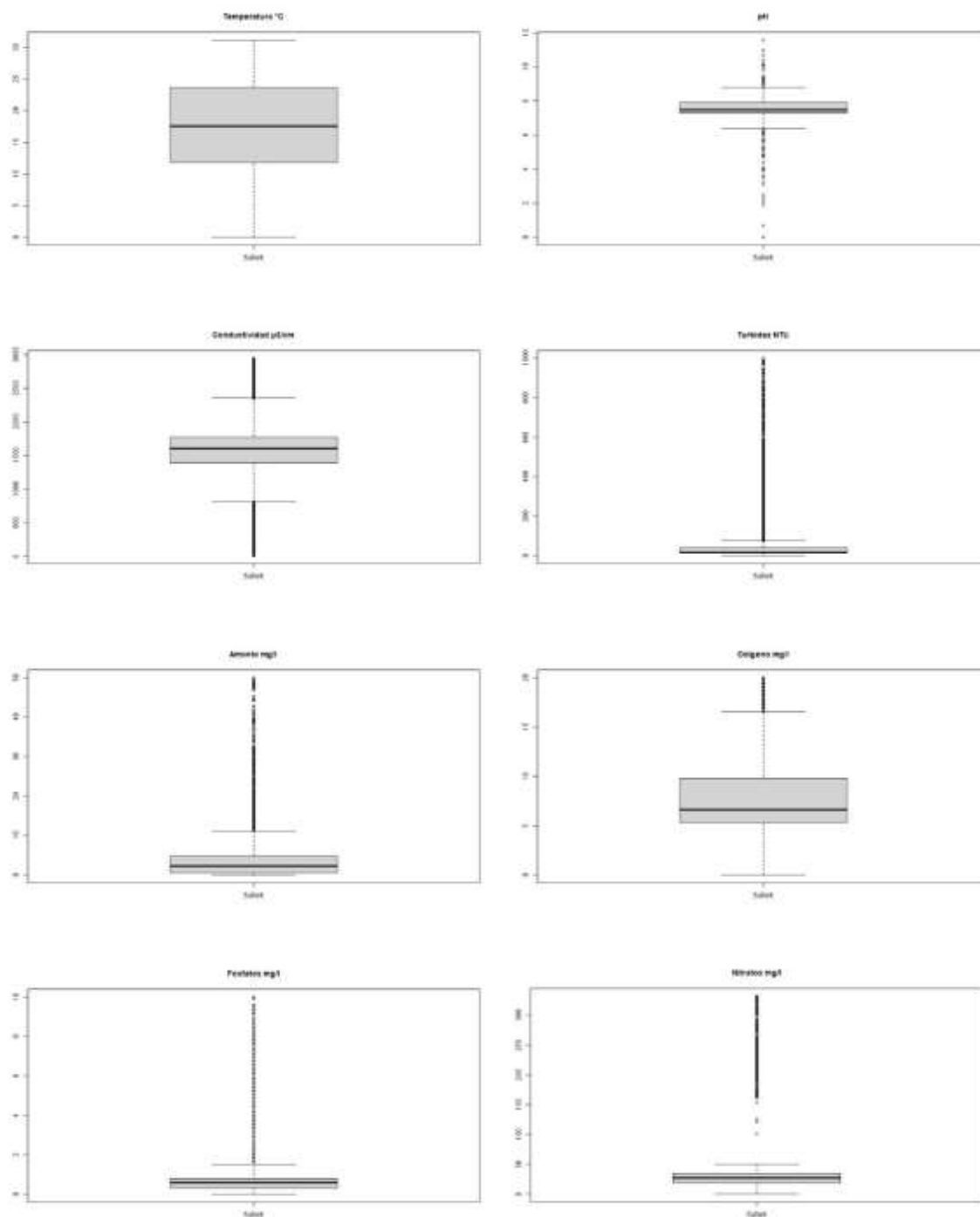


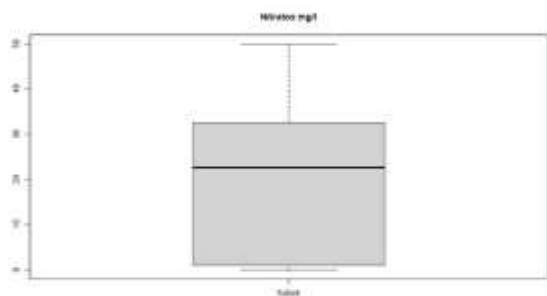
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de la Red SAICA (CHT, 2022b).

Dados los altos niveles de amonio, fosfatos y nitratos que se detectan, sería necesario valorar hasta qué punto, además de la contaminación procedente de los vertidos autorizados, estos podrían estar relacionados con desbordamientos y aliviaderos de la red de alcantarillado en momentos puntuales de lluvia, así como con la contaminación difusa procedente de la agricultura.

El análisis gráfico en detalle de la situación del río Tajo en la estación de Safont (Figura 37) nos indica la presencia de valores anómalos en todas las variables analizadas (salvo en la temperatura del agua). Esto nos indica la posibilidad de que durante los episodios de espumas hayan podido ocurrir circunstancias especiales, por lo que resulta necesario analizar el comportamiento de los parámetros fisicoquímicos durante dichos episodios.

Figura 37. Box and whiskers-plot de los distintos parámetros fisicoquímicos para la serie completa en Safont en el periodo 2014-2021.





En general, en dicha localización, el análisis multivariante de los parámetros fisicoquímicos muestra una correlación media positiva entre la temperatura, el pH, la conductividad y el oxígeno ($0,34 < r < 0,71$, siendo r el coeficiente de correlación lineal de Pearson) y una correlación negativa, de $r = -0,52$, entre la temperatura del agua y el amonio, indicativa, con un grado de correlación medio, de mayor concentración de amonio en los meses más fríos del año. El resto de las variables presentan una correlación baja entre ellas, no reseñable (Tabla 7).

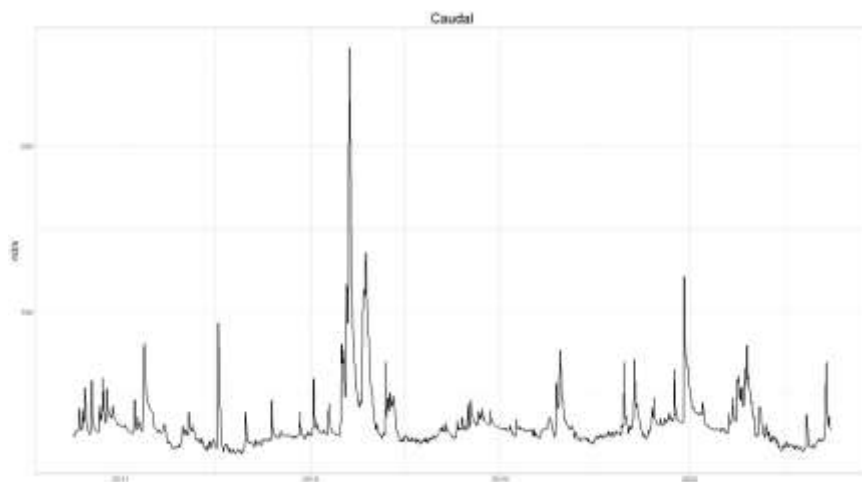
Tabla 7. Matriz de coeficientes de correlación entre las variables dos a dos en la serie completa en Safont en el periodo 2014-2021.

	Tempe- Ratura	pH	Conduc- tividad	Oxígeno	Turbidez	Amonio	Fosfatos	Nitratos
Temperatura	1,00	0,66	0,46	0,48	0,06	-0,52	-0,08	-0,19
Ph	0,66	1,00	0,51	0,71	0,09	-0,36	-0,14	-0,03
Conductividad	0,46	0,51	1,00	0,34	-0,20	-0,15	-0,04	0,10
Oxígeno	0,48	0,71	0,34	1,00	0,17	-0,33	-0,23	-0,07
Turbidez	0,06	0,09	-0,20	0,17	1,00	-0,19	-0,14	-0,15
Amonio	-0,52	-0,36	-0,15	-0,33	-0,19	1,00	0,07	0,12
Fosfatos	-0,08	-0,14	-0,04	-0,23	-0,14	0,07	1,00	0,15
Nitratos	-0,19	-0,03	0,10	-0,07	-0,15	0,12	0,15	1,00

De la serie de caudales medios diarios circulantes en la estación de aforos de Puente de Algodor (que recuérdese que se encuentra en el río Tajo a unos 25 km de Safont, aguas arriba) durante los cuatro años hidrológicos que abarca los episodios de espumas (desde 1 de octubre de 2016) y hasta donde hay datos disponibles (30 septiembre de 2020), se concluye un comportamiento absolutamente regulado del río, que nada tiene que ver con el comportamiento natural, sin que puedan apreciarse ni siquiera variaciones estacionales periódicas (véase Figura 38).



Figura 38. Caudales medios diarios circulantes en la estación de Puente de Algodor (río Tajo).



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de CEDEX (2023).

5. Conclusiones

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). Esta cuestión, que ya está presente en la literatura previa, ha sido puesta en evidencia de manera contundente con los datos más actuales presentes en las fuentes oficiales.

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 ese punto son vertidos a ese río. Del total de vertidos autorizados hasta Toledo, el 87,4 % provienen de las EDAR. Es especialmente relevante la contribución de las estaciones depuradoras de la Comunidad de Madrid (83,1 %). En el caso de obviar los vertidos autorizados sin carga orgánica destacable, es decir, si se detraen los vertidos efectuados, por ejemplo, por las piscifactorías y centrales térmicas y nucleares, cuyas aguas no contienen alta concentración de nutrientes, entonces, la responsabilidad del Jarama se eleva hasta el 92,2 %. 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 las dos terceras partes del agua que circula por el río Tajo en Toledo proviene de vertidos autorizados con carga orgánica destacable, si se vertiera el máximo autorizado. También hay que destacar que el río Tajo entre Aranjuez y Toledo no recibe aportaciones considerables de aguas limpias, ya que el caudal de todos sus afluentes se corresponde con el 100 % del volumen de vertidos autorizados, que recuérdese, es un máximo.



La red CEMAS muestra las altas concentraciones de nutrientes que soporta el tramo medio del río Tajo. Esto es especialmente grave en el caso de los fosfatos y amonio que mantienen unas concentraciones mayoritariamente altas a lo largo de todo el tramo, muy por encima del límite de buen estado. 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 amonio, fosfatos y nitratos. 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. Se concluye, además, el efecto positivo que tiene la dilución de las aguas del río Tajo (más limpias hasta Aranjuez) en las aguas del río Jarama.

Los datos de la Red SAICA, quinceminutales, permiten concluir que, 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. Las altas concentraciones de amonio halladas son indicativas de una insuficiente depuración de los residuos urbanos. En el Tajo a su paso por Toledo se han 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 doble 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 está cortada en 50 mg/l debido a que, según ha sido comunicado por la CHT, los aparatos medidores no están diseñados para registrar valores superiores a este valor. 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.

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, se hace necesario el estudio detallado de la contaminación del río durante los episodios de espumas para poder extraer conclusiones sobre el origen de su formación. Lo que en esta investigación ha quedado patente es la altísima concentración de contaminantes presente en el río Tajo en su tramo medio.

En el estudio realizado, se detectan algunas limitaciones principalmente derivadas de la calidad de los datos oficiales disponibles sobre los indicadores fisicoquímicos del río. 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 por motivos técnicos (según comunicación de la CHT) para oxígeno, amonio, fosfatos y nitratos. Para futuros estudios de la calidad de las aguas sería necesario contar con datos oficiales completos y más fiables en toda la red de control.

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.

6. Referencias

- Aguilar, M., Bleda, J. M., Larraz, B., & Urquiaga, R. (2024). The Collective Memory of the Fluvial Environment: The Loss of a Healthy Natural Environment in the City of Toledo (Spain) through Pollution. *Society & Natural Resources*, 1-16. <https://doi.org/10.1080/08941920.2024.2310219>
- Arango, R. (08/02/2018). El río Tajo, una vez más, vuelve a pasar por Toledo lleno de mierda. *En Castilla-La Mancha*. https://www.encastillalamancha.es/sociedad-cat/rio-tajo-una-vez-mas-vuelve-pasar-toledo-lleno-mierda/#slideimg_1
- Arauzo, M., Martínez-Bastida, J. J., & De Valladolid, M. (2008). Contaminación por nitrógeno en el sistema “río-acuífero aluvial” de la cuenca del Jarama (Comunidad de Madrid, España) ¿Origen agrícola o urbano? *Limnetica*, 27(2), 195-210. <https://doi.org/10.23818/limn.27.16>
- Arenas-Sánchez, A., Rico, A., Rivas-Tabares, D., Blanco, A., García-Doncel, P., Romero-Salas, A., Nozal, L., & Vighi, M. (2019). Identification of contaminants of concern in the upper Tagus river basin (central Spain). Part 2: Spatio-temporal analysis and ecological risk assessment. *Science Of The Total Environment*, 667, 222-233. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.286>
- Bätje, M., & Michaelis, H. (1986). *Phaeocystis pouchetii* blooms in the East Frisian coastal waters (German Bight, North Sea). *Marine Biology*, 93(1), 21-27. <https://doi.org/10.1007/bf00428651>
- Boletín Oficial del Estado, BOE (1986). Real Decreto 849/1986, de 11 de abril, por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, que desarrolla los títulos preliminar I, IV, V, VI y VII de la Ley 29/1985, de 2 de agosto, de Aguas. Referencia: BOE-A-1986-10638
- Boletín Oficial del Estado, BOE (2008). Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica. BOE, núm. 229, de 22 de septiembre de 2008, páginas 38472 a 38582. Referencia: BOE-A-2008-15340
- Boletín Oficial del Estado, BOE (2015). Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental. BOE núm. 219, de 12 de septiembre de 2015, 80582 - 80677



- Boletín Oficial del Estado, BOE (2023). Real Decreto 3/2023, de 10 de enero, por el que se establecen los criterios técnico-sanitarios de la calidad del agua de consumo, su control y suministro. BOE» núm. 9, de 11 de enero de 2023, páginas 4253 a 4354 (102 págs.). Referencia: BOE-A-2023-628.
- Bolinches, A. (2019, 7 de mayo). Efluentes de depuración y afección al medio receptor: El caso del Tajo Medio [Presentación de contenido]. Jornada de debate sobre depuración de aguas residuales. Observatorio del Agua de la Fundación Botín. Madrid. https://www.fundacionbotin.org/89dguuytdfr276ed_uploads/Observatorio%20Tendencias/Sem%20NACIONALES/mayo2019jornadadepuracion/S1P1Bolinches.pdf
- Bolinches, A., De Stefano, L. & Paredes-Arquiola, J. (2020). Adjusting wastewater treatment effluent standards to protect the receiving waters: the case of low-flow rivers in central Spain. *Environmental Earth Sciences*, 79(19). <https://doi.org/10.1007/s12665-020-09184-z>
- Brown, M. B. & Forsythe, A. b. (1974) The Small Sample Behavior of Some Statistics Which Test the Equality of Several Means, *Technometrics*, 16:1, 129-132. <http://dx.doi.org/10.1080/00401706.1974.10489158>
- Camiñas, T. (13 de septiembre de 1989). El Tajo se ha convertido en una cloaca. *El País*. https://elpais.com/diario/1989/09/13/sociedad/621640802_850215.html
- Cátedra del Tajo UCLM-Soliss (2023). Visor de presiones de los ríos de la cuenca del Tajo. www.catedradeltajovisor.org
- Comunidad de Madrid. (2021) Diagnóstico medioambiental 2020. CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO
- CHT (2020). Esquema de Temas Importantes de la parte española de la demarcación hidrográfica del Tajo. Tercer ciclo de planificación hidrológica. Confederación Hidrográfica del Tajo. https://www.chtajo.es/LaCuenca/Planes/PlanHidrologico/Planif_2021-2027/Documents/PHTAJO3_ETI_12-2020.pdf
- CHT (2021). Censo de vertidos de la parte española de la demarcación hidrográfica del Tajo. Confederación Hidrográfica del Tajo. <http://www.chtajo.es/LaCuenca/CalidadAgua/ControlVertidos/Paginas/default.aspx>
- CHT (2022a). Red de Control del Estado de las Masas de Agua Superficiales (CEMAS). Confederación Hidrográfica del Tajo. https://www.chtajo.es/LaCuenca/CalidadAgua/Resultados_Informes/Paginas/RISupFisicoQu%C3%ADmico.aspx
- CHT (2022b). Sistema Automático de Información de Calidad de las Aguas (SAICA). Confederación Hidrográfica del Tajo. <https://saicaweb.chtajo.es/saica/index.php>
- Corral, M. C. (16 de octubre de 2016). El Tajo, cubierto de espuma blanca a su paso por Toledo. *El Mundo*. <https://www.elmundo.es/ciencia/2016/10/16/5803717122601dc41b8b45dd.html>
- Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, CEDEX (2019). Anuario de aforos. Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico y Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. https://ceh.cedex.es/anuarioaforos/afo/estaf-cdr_datos.asp?gr_cuenca_id=3
- De Juan, R. (21/01/2018). Una pesadilla: el Tajo a su paso por Toledo lleva más suciedad que nunca. *En Castilla-La Mancha*. <https://www.encastillalamancha.es/castilla-la-mancha-cat/toledo/una-pesadilla-el-tajo-a-su-paso-por-toledo-hoy-domingo-lleva-mas-suciedad-que-nunca/>
- De Lucas, A. (2019). Concepto, análisis histórico y determinación de excedentes de la cuenca del tajo: aplicación al trasvase Tajo-Segura [Tesis doctoral. Universidad de Alcalá de Henares]. <https://www.educacion.gob.es/teseo/imprimirFicheroTesis.do?idFichero=wk%2FDE0VTAKo%3D>
- Del Río, C. (31/12/2017). El Tajo a su paso por Toledo despide 2017 como lo comenzó, lleno de mierda. *En Castilla-La Mancha*. <https://www.encastillalamancha.es/castilla-la-mancha-cat/toledo/el-tajo-a-su-paso-por-toledo-despide-2017-como-lo-comenzo-lleno-de-mierda/>
- Diario Oficial de la Comunidad Europea, DOCE (2000). Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre de 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas. «DOCE» núm. 327, de 22 de diciembre de 2000, páginas 1 a 73 (73 págs.). DOUE-L-2000-82524
- Diario Oficial de la Unión Europea, DOUE (2004). Reglamento (CE) No 648/2004 del Parlamento Europeo y del Consejo de 31 de marzo de 2004 sobre detergentes. «DOCE» núm. L104, de 8 de abril de 2004, páginas 1 a 35 (35 págs.). Document 32004R0648
- Diario Oficial de la Unión Europea, DOUE (2020). Reglamento (UE) 2020/741 del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de mayo de 2020 relativo a los requisitos mínimos para la reutilización del agua.



- DOUE» núm. 177, de 5 de junio de 2020, páginas 32 a 55 (24 págs.). Referencia:DOUE-L-2020-80879
- Díez-Mayans, C., Bienes & Ramón. (2003). Evolución de la contaminación por nitratos, nitritos y amonio en los ríos Henares, Tajuña, Jarama y Tajo de la Comunidad de Madrid. Instituto Madrileño de Investigación Agraria y Alimentaria.
- Dirección General de Sanidad, DGS (1972). Circular número 48, de 19 de junio de 1972.
- Eberlein, K., Leal, M.T., Hammer, K.D. et al. Dissolved organic substances during a *Phaeocystis pouchetii* bloom in the German Bight (North Sea). *Mar. Biol.* 89, 311–316 (1985). <https://doi.org/10.1007/BF00393665>
- Enclm (22/10/2017). El río Tajo en Toledo, una macabra fiesta de la espuma. *En Castilla-La Mancha*. https://www.encastillalamancha.es/castilla-la-mancha-cat/rio-tajo-toledo-una-macabra-fiesta-la-espuma/#slideimg_1
- Enclm (10/02/2019). El video de las espumas que vuelven a ahogar al río Tajo a su paso por Toledo. *En Castilla-La Mancha*. <https://www.encastillalamancha.es/medio-ambiente-cat/el-video-de-las-espumas-que-vuelven-a-ahogar-al-rio-tajo-a-su-paso-por-toledo/>
- Efron, B., & Tibshirani, R.J. (1994). An Introduction to the Bootstrap (1st ed.). Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9780429246593>
- Ettema, R., Johnson, J.K., Schaefer, J.A., 1989. Foam-initiated ice covers on small rivers and streams: an observation. *Cold Regions Science and Technology* 16, 95-99.
- Fisenko, A. I. (2004). A New Long-Term On Site Clean-Up Approach Applied to Non-Point Sources of Pollution. *Water, Air, & Soil Pollution*, 156(1), 1-27. <https://doi.org/10.1023/b:wate.0000036822.97934.7b>
- Gallego, M.S. (2013). Los Señores del Tajo. En Larraz, B.; Cano, A. (coords.) *El río Tajo, Lecciones del pasado para un futuro mejor*, Toledo: Editorial Ledoria, p. 71-78.
- Glass, G. V., Peckham, P. D., & Sanders, J. R. (1972). Consequences of failure to meet assumptions underlying the fixed effects analyses of variance and covariance. *Review of Educational Research*, 42(3), 237–288. <https://doi.org/10.3102/00346543042003237>
- Gonzalo Garrigos [@GonzaloGarrigos] (23/02/2021). Así corren las aguas del río Tajo a su paso por #Toledo @AEMET_ClaMancha @ElTiempoCMM @ElTiempo_tve @ElTiempoA3 @meteocr #BuenasTardes #FelizMartesATodos [Video Adjunto]. Twitter. <https://twitter.com/GonzaloGarrigos/status/1364269243584372737?s=20>
- Instituto Nacional de Estadística-INE (2023). Cifras oficiales de población de los municipios españoles: Revisión del Padrón Municipal. España.
- Larraz, B., Hernandez-Mora, N., Gallego, M.S., San-Martín, E. (2015). La gestión insostenible del río Tajo. *BIBLIO 3W:: REVISTA BIBLIOGRÁFICA DE GEOGRAFÍA Y CIENCIAS SOCIALES*. 21. 742-98133.
- Larraz, B., Sánchez, M.A., Urquiaga, R., Alonso, C. (2023). Análisis del estado de conservación de la cuenca del río Guadarrama. Consecuencias en el municipio de Batres. Cátedra del Tajo UCLM-Soliss. Toledo. <https://drive.google.com/file/d/1Lq2lomp59PNQDnqNu-Rk2Jz-doHeygyl/view>
- La Sexta (02/08/2017). Denuncian de nuevo la aparición de espuma en el Tajo a su paso por Toledo: "El río está prácticamente muerto". *La Sexta*. https://www.lasexta.com/noticias/sociedad/denuncian-nuevo-aparicion-espuma-tajo-paso-toledo-rio-esta-practicamente-muerto_201708025982336e0cf24fa98910ea86.html
- LaSexta (09/07/2018). Denuncian un nuevo vertido en el río Tajo, cubierto por una densa capa de espuma a su paso por Toledo. *La Sexta*. https://www.lasexta.com/noticias/sociedad/denuncian-un-nuevo-vertido-en-el-rio-tajo-cubierto-por-una-cap-a-de-espuma-a-su-paso-por-toledo_20161016580381f90cf26449f5dd2123.html
- Lix, L. M., Keselman, J. C., & Keselman, H. J. (1996). Consequences of assumption violations revisited: A quantitative review of alternatives to the One-Way analysis of variance F test. *Review of Educational Research*, 66(4), 579-619. <https://doi.org/10.3102/00346543066004579>
- Madrangé, L., Chaboury, P., Ferrandon, O., Mazet, M., Rodeaud, J., 1992. Study of the formation and stability of chemical foam on the Vienne River between Limoges and Confolens. *Revue des Sciences de L'eau* 6, 315-334.
- Manjavacas, M. (17 de febrero de 2022). El "drama" del río Tajo en Toledo: medio siglo de contaminación sin que cesen las espumas ni el trasvase. *Eldiario.es*. <https://www.eldiario.es/castilla-la>



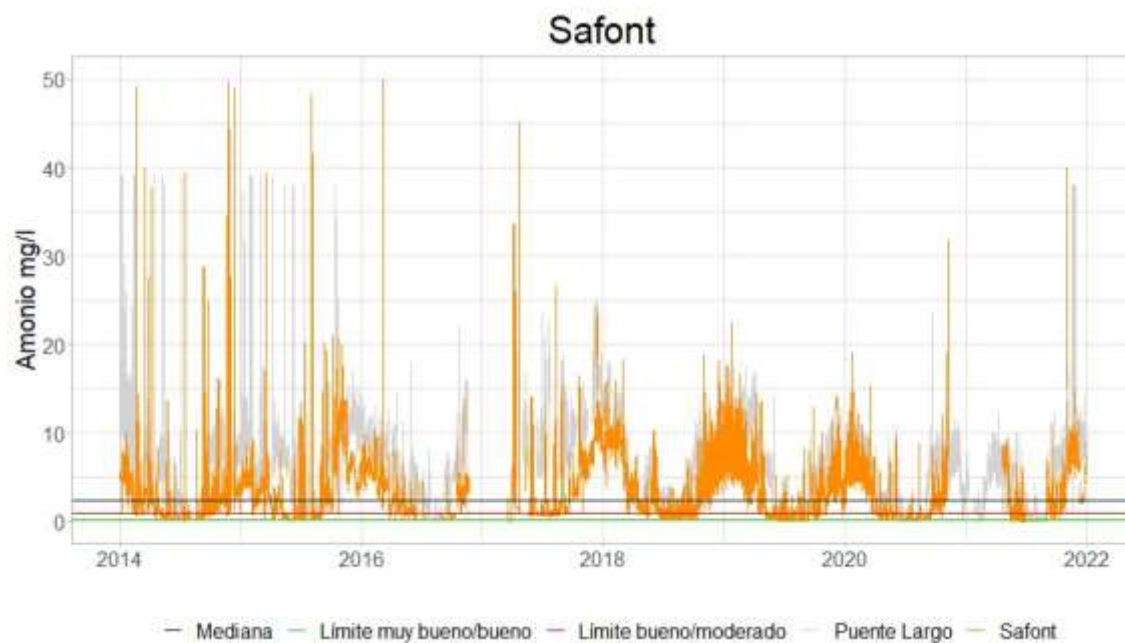
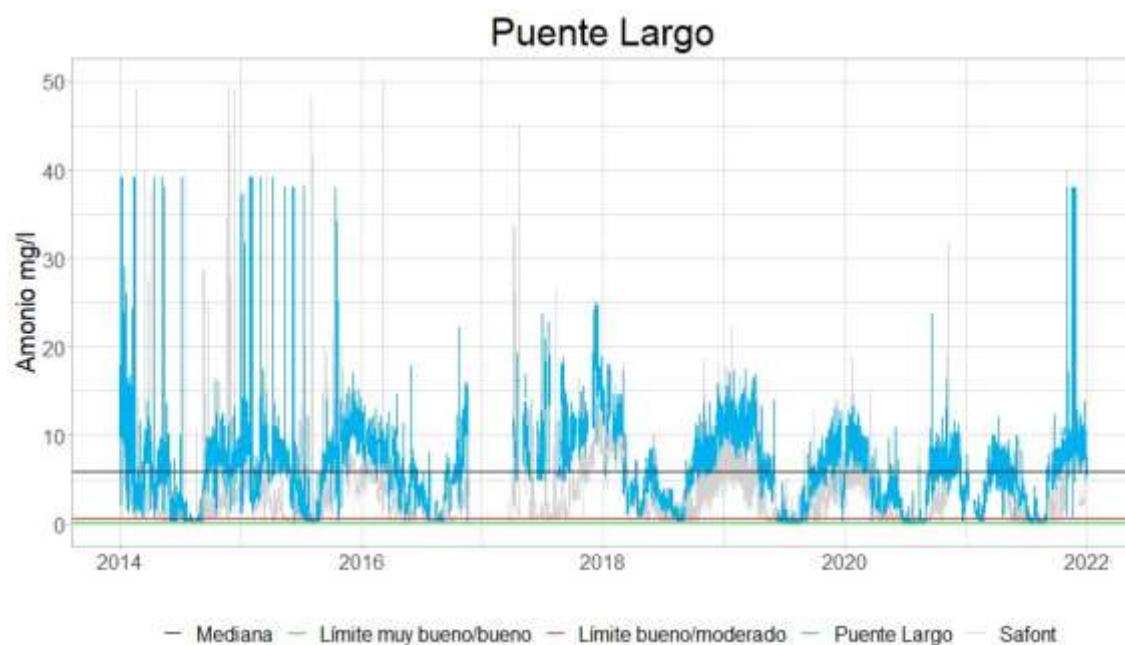
- mancha/drama-rio-tajo-toledo-medio-siglo-contaminacion-cesen-espumas-trasvase_1_8757836.html
- Martín, A. (18/01/2018). El Ayuntamiento de Toledo presenta cuatro recursos contra la Confederación Hidrográfica del Tajo. *SER-Toledo*. https://cadenaser.com/emisora/2018/01/18/ser_toledo/1516275364_865671.html
- Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico. (2021). Guía para la evaluación del estado de las aguas superficiales y subterráneas. Madrid.
- Morlanes, A. (25/10/2021). Nuevo episodio de espumas en las aguas del río Tajo a su paso por Toledo: "Brutal". *El Español-El Digital Castilla-La Mancha*. https://www.elespanol.com/eldigitalcastillalamancha/region/toledo/20211025/nuevo-episodio-espumas-aguas-tajo-toledo-brutal/622187942_0.html
- Muñoz J.V. (31/10/2016). Así baja el Tajo por Toledo en el punto donde más espumas se generan. *SER Toledo*. https://cadenaser.com/emisora/2016/10/31/videos/1477894511_285712.html
- Noticias CMM. (04/03/2018). #TAJO | Espumas abundantes en el río Tajo a su paso por #Toledo. Contaminación patente, a pesar de las lluvias. [Vídeo adjunto]. Facebook. <https://www.facebook.com/watch/?v=582068338813999>
- Napolitano, G. E., & Richmond, J. E. (1995). Enrichment of biogenic lipids, hydrocarbons and PCBs in stream-surface foams. *Environmental Toxicology And Chemistry*, 14(2), 197-201. <https://doi.org/10.1002/etc.5620140203>
- Patrimonio Toledo Cuando es una rutina, día tras día... #Espumas en el paso del #Tajo por #Toledo. Aguas color chocolate. Depuradoras, NO [Vídeo adjunto]. Twitter. https://twitter.com/Patrimon_Toledo/status/1387730253188157440?s=20
- Pojasek, R.B., Zajicek, O.T., 1978. Surface microlayers and foams as source and metal transport in aquatic systems. *Water Research* 12, 7-10.
- Rafael Camarillo [@RafaCamarilloQ] (23/06/2021). Precioso timelapse del Puente de San Martín en Toledo, a pesar de las ya habituales espumas en el Tajo [Vídeo adjunto]. Twitter. <https://twitter.com/RafaCamarilloQ/status/1407795622971949058?s=20>
- Raposo, A.A. & Barros, Luiz & Magalhães Júnior, Antônio. (2010). O uso de taxas de turbidez da bacia do Alto Rio das Velhas - Quadrilátero Ferrífero/MG - como indicador de pressões humanas e erosão acelerada. *Revista de Geografia*. 3. 31-45.
- Río Tajo Vivo [@rioTajoVIVO]. (25/01/2018) Las espumas en el Tajo vuelven a inundar la postal de #Toledo Y la CH Tajo dice que mejora la. [video adjunto]. Twitter. <https://twitter.com/rioTajoVIVO/status/956468298413207553?s=20>
- Río Tajo Vivo [@rioTajoVIVO]. (03/03/2018) El Tajo en Toledo hoy presenta una postal de nuevo vergonzosa, con más espumas de lo habitual Contaminación que fluye, que. [video adjunto]. Twitter. <https://twitter.com/rioTajoVIVO/status/969971488601399296?s=20>
- Ríos Ruiz, F., 2014. Comportamiento ambiental de tensioactivos comerciales: Biodegradabilidad, toxicidad y ozonización [Tesis doctoral]. Universidad de Granada. [<http://hdl.handle.net/10481/42048>]
- Rodríguez, D. (09/12/2016). Otra vez las espumas blancas en el Tajo a su paso por Toledo. *Ser Toledo*. https://cadenaser.com/emisora/2016/12/09/ser_toledo/1481282491_538933.html
- Romero, D. (06/12/2017). El Tajo en Toledo el Día de la Constitución: lleno de mierda y espumas como de costumbre. *En Castilla-La Mancha*. <https://www.encastillalamancha.es/castilla-la-mancha-cat/toledo/el-tajo-en-toledo-en-el-dia-de-la-constitucion-lleno-de-mierda-y-espumas-como-de-costumbre/>
- Ruzicka, K., Gabriel, O., Bletterie, U., Winkler, S., Zessner, M., 2009. Cause and effect relationship between foam formation and treated wastewater effluents in a transboundary river. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C* 34, 565.
- Sánchez, E. (2022) Blog Toledo Olvidado. <https://toledoolvidado.blogspot.com/>
- San-Martín, E, Larraz, B., & Gallego, M. S. C. (2020). When the river does not naturally flow: a case study of unsustainable management in the Tagus River (Spain). *Water International*, 45(3), 189-221. <https://doi.org/10.1080/02508060.2020.1753395>
- Seuront, L., Vincent, D., & Mitchell, J. G. (2006). Biologically induced modification of seawater viscosity in the Eastern English Channel during a *Phaeocystis globosa* spring bloom. *Journal Of Marine Systems*, 61(3-4), 118-133. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2005.04.010>
- Schilling, K., & Zessner, M. (2011). Foam in the aquatic environment. *Water Research*, 45(15), 4355-4366. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2011.06.004>



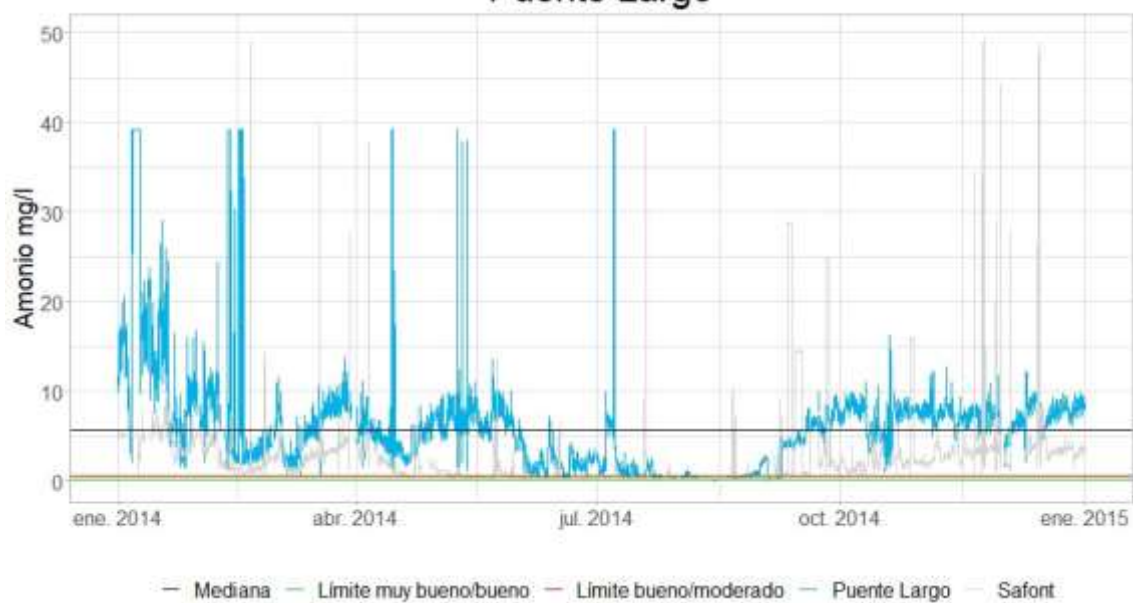
- Toledodiario (29/11/2018). Denuncian la aparición de "gran cantidad" de espumas en el Tajo. *Toledodiario*. <https://toledodiario.es/denuncian-la-aparicion-de-gran-cantidad-de-espumas-en-el-tajo-debajo-de-la-presa-de-castejon/>
- Toletho [@ForoToletho] (24/03/2021). Lamentablemente estado del #riotajo hoy 24/04/21 en un año de abundantes nieves. #tajo @rioTajoVIVO @plataforma_tajo @Toledo_Olvidado [Vídeo adjunto]. Twitter. <https://twitter.com/ForoToletho/status/1374780369115963392?s=20>
- Urquiaga, R. (2013), El río Jarama: un afluente al que tributa el río Tajo. En Larraz, B. y Cano, A (Coord.). El río Tajo, lecciones del pasado para un futuro mejor (pp. 91-122). Editorial Ledoria - Jesús Muñoz Romero.
- Valcárcel, Y., Alonso, S. G., Rodríguez-Gil, J. L., Castaño, A., Montero, J. C., Criado-Álvarez, J., Mirón, I., & Catalá, M. (2012). Seasonal variation of pharmaceutically active compounds in surface (Tagus River) and tap water (Central Spain). *Environmental Science And Pollution Research*, 20(3), 1396-1412. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-1099-2>
- Verdugo, J. (09/12/2017). El nada inmaculado Tajo y las manchas espumosas despiertan la curiosidad de los turistas. *En Castilla-La Mancha*. <https://www.encastillalamancha.es/castilla-la-mancha-cat/toledo/el-nada-inmaculado-tajo-y-las-manchas-espumosas-despiertan-la-curiosidad-de-los-turistas/>
- Verdugo, J. (23/03/2018). Julián Maeso nos lleva al Puente de San Martín con «la fiesta de la espuma». *En Castilla-La Mancha*. <https://www.encastillalamancha.es/especiales-cat/julian-maeso-nos-lleva-al-puente-de-san-martin-con-la-fiesta-de-la-espuma/>
- Wegner, C., & Hamburger, M. (2002). Occurrence of Stable Foam in the Upper Rhine River Caused by Plant-Derived Surfactants. *Environmental Science & Technology*, 36(15), 3250-3256. <https://doi.org/10.1021/es025532p>
- Welch, B. L. (1951). On the Comparison of Several Mean Values: An Alternative Approach. *Biometrika*, 38(3/4), 330–336. <https://doi.org/10.2307/2332579>.



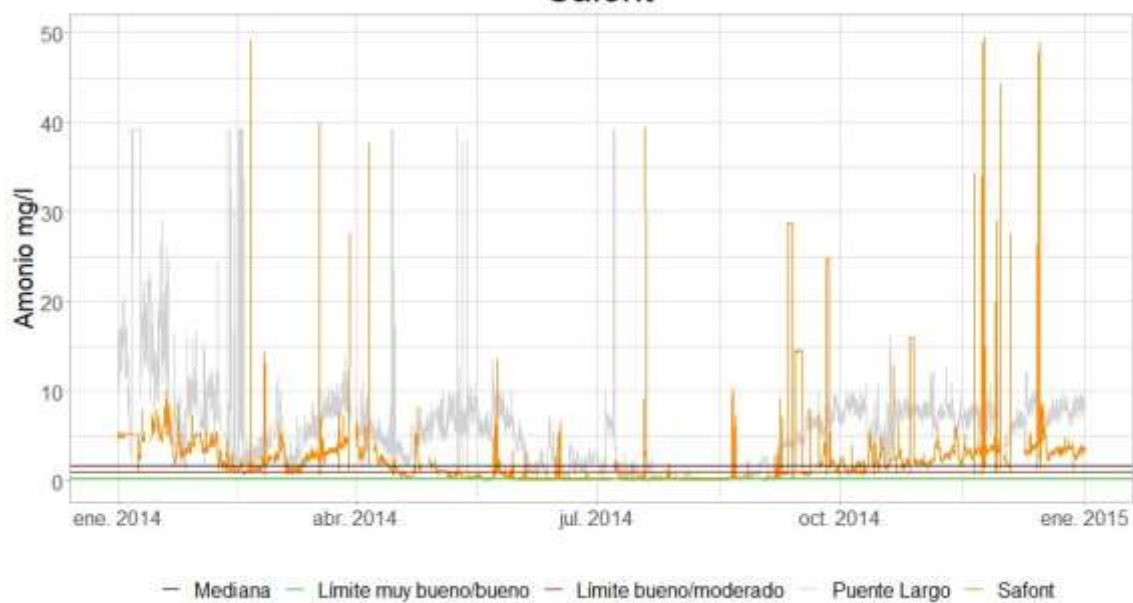
Anexo 1. Concentración de amonio y fosfatos en las estaciones de la red SAICA de Puente Largo (río Jarama antes de su desembocadura) y Safont (Toledo). Serie 2014-2021 y gráficas anuales.



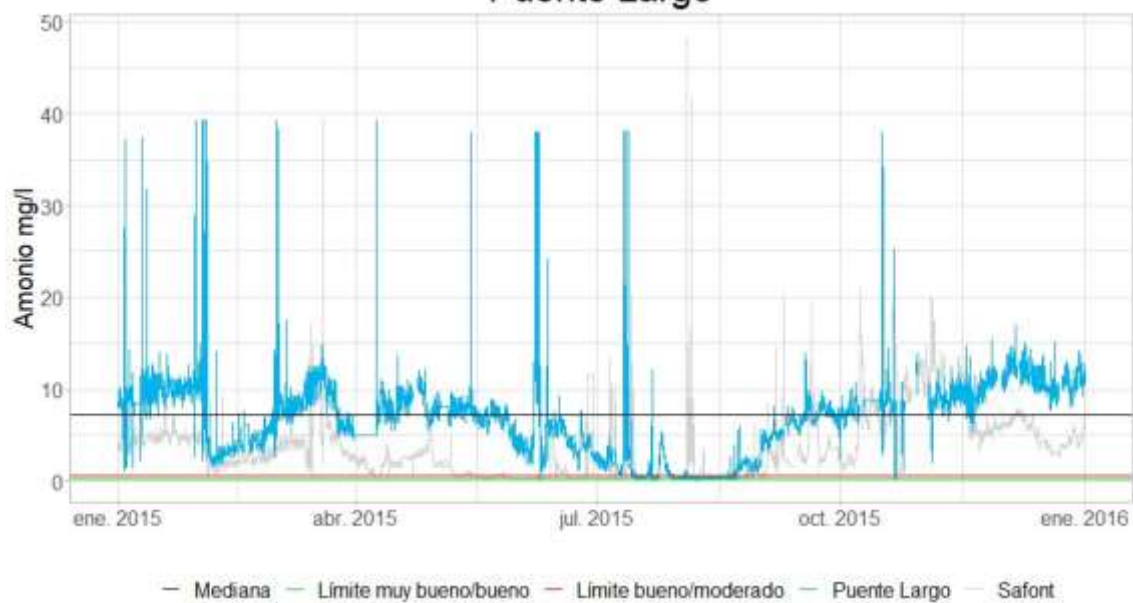
Puente Largo



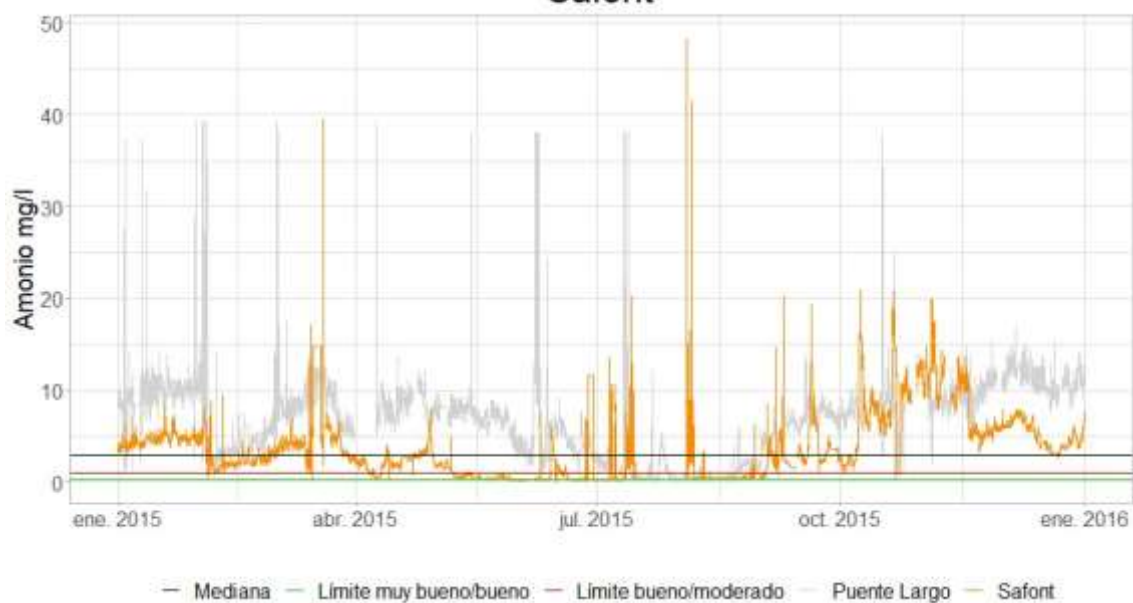
Safont



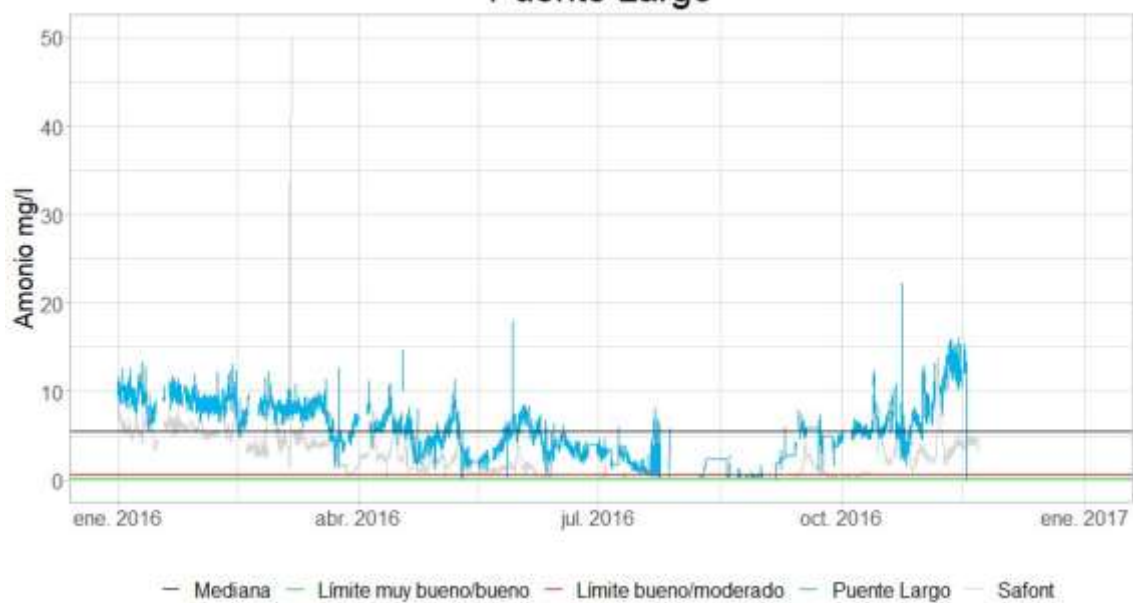
Puente Largo



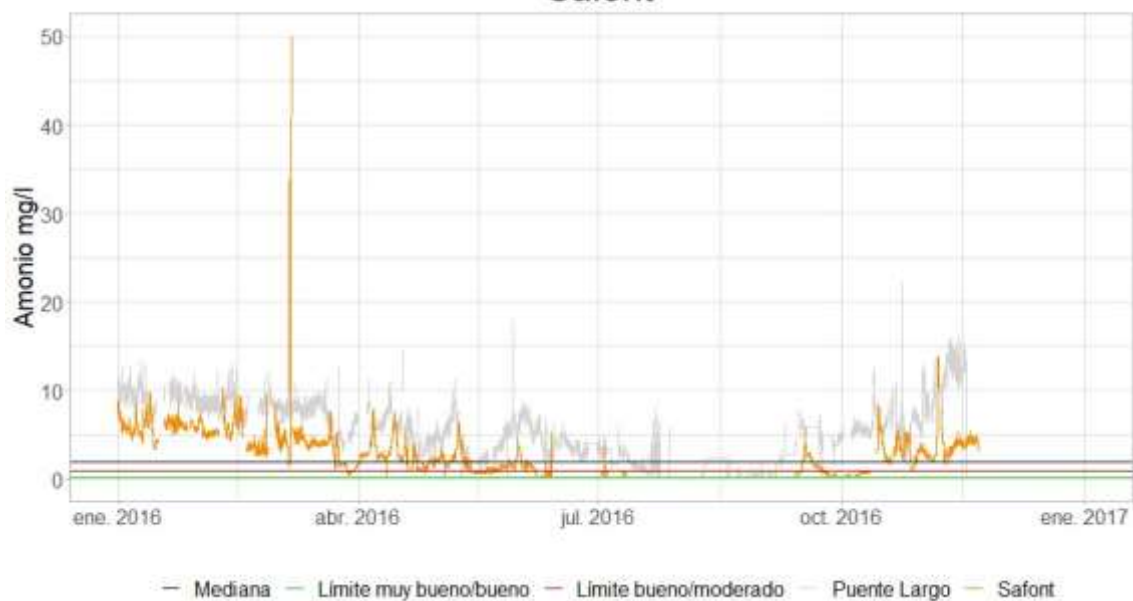
Safont



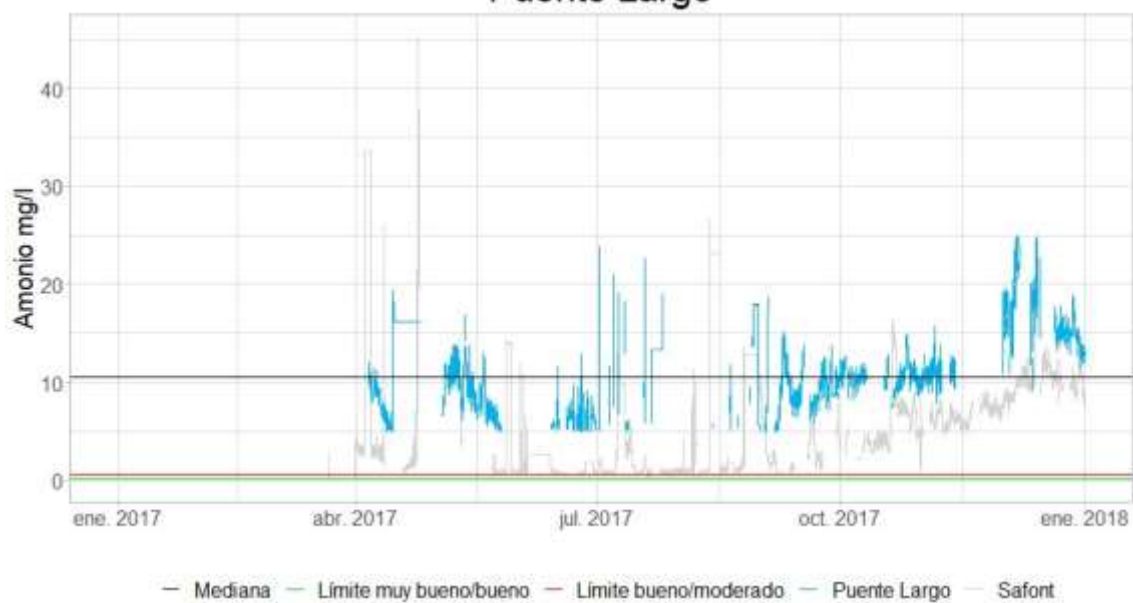
Puente Largo



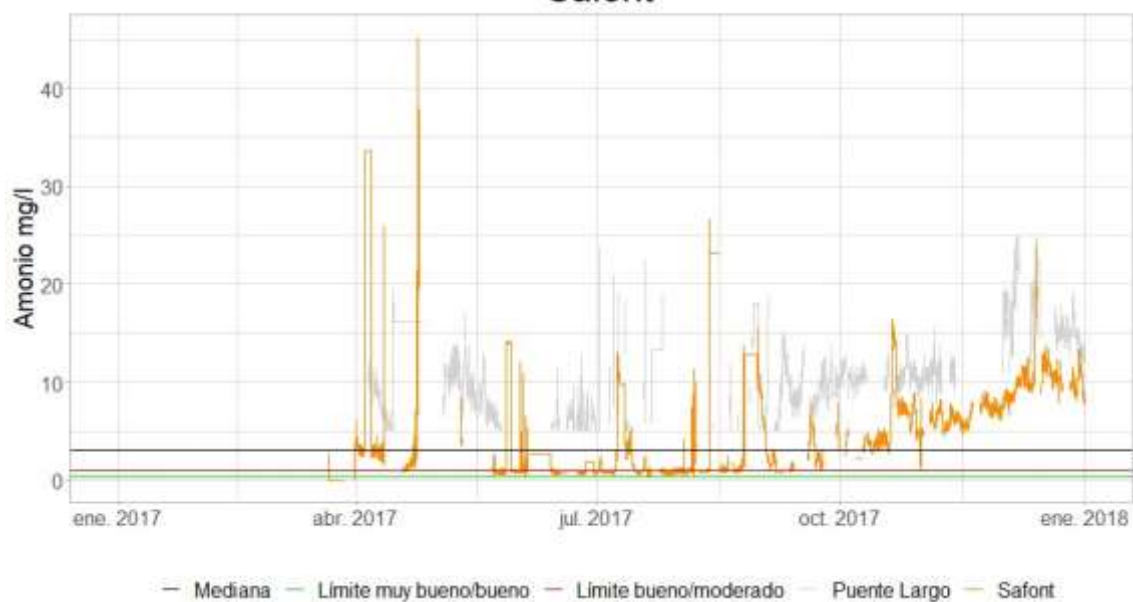
Safont



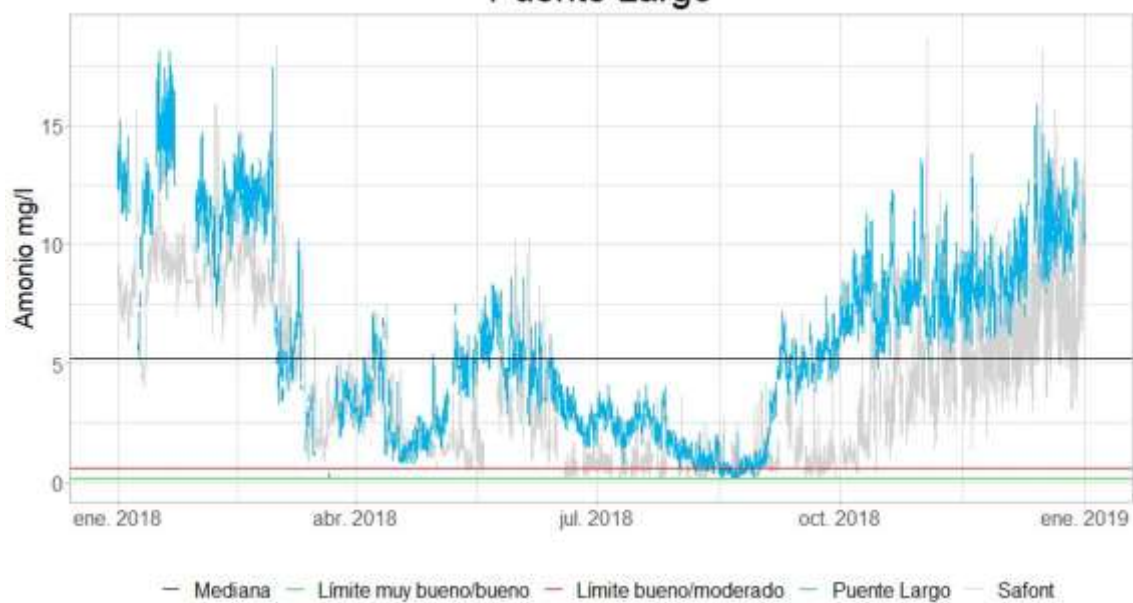
Puente Largo



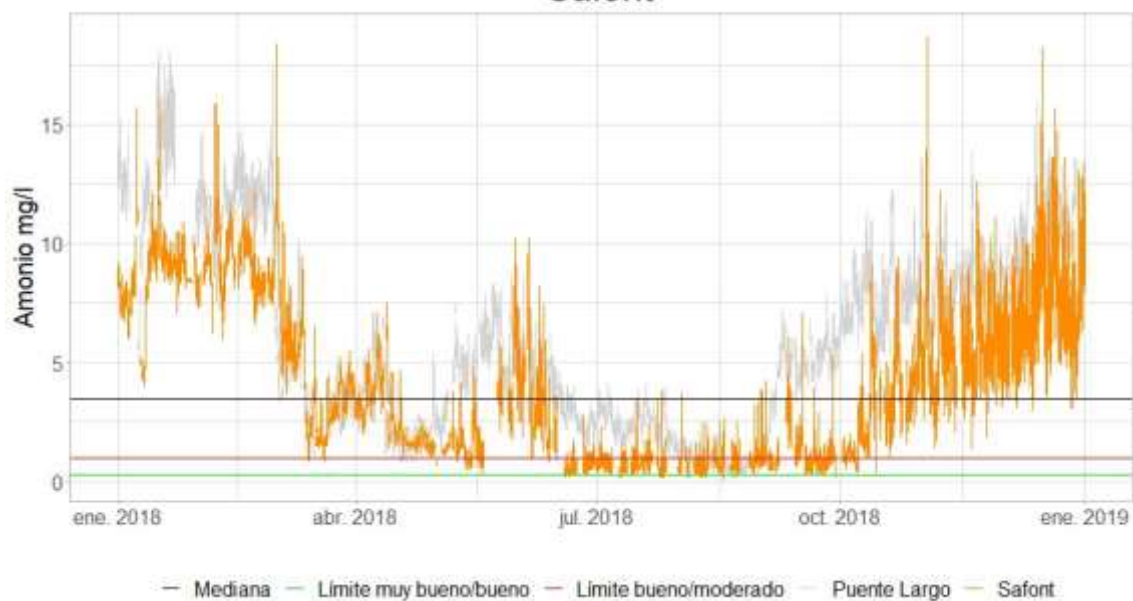
Safont



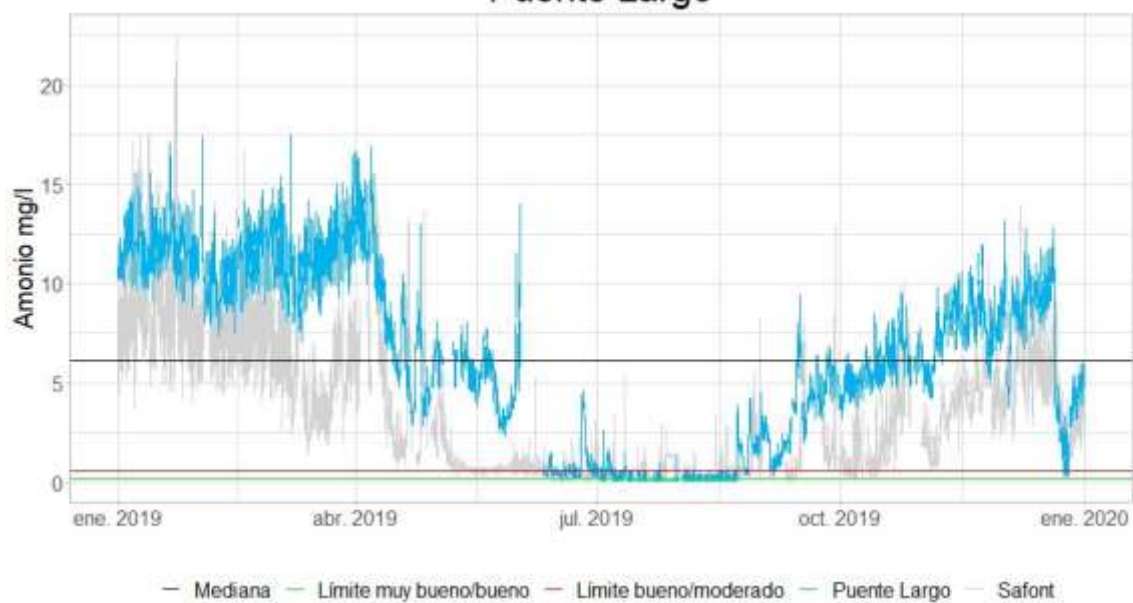
Puente Largo



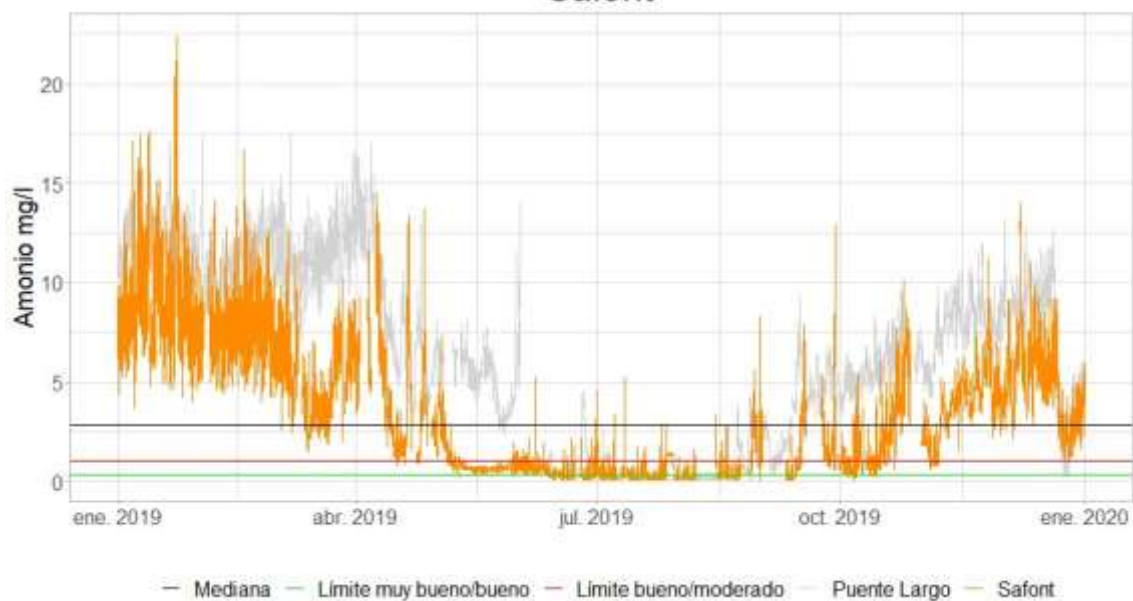
Safont



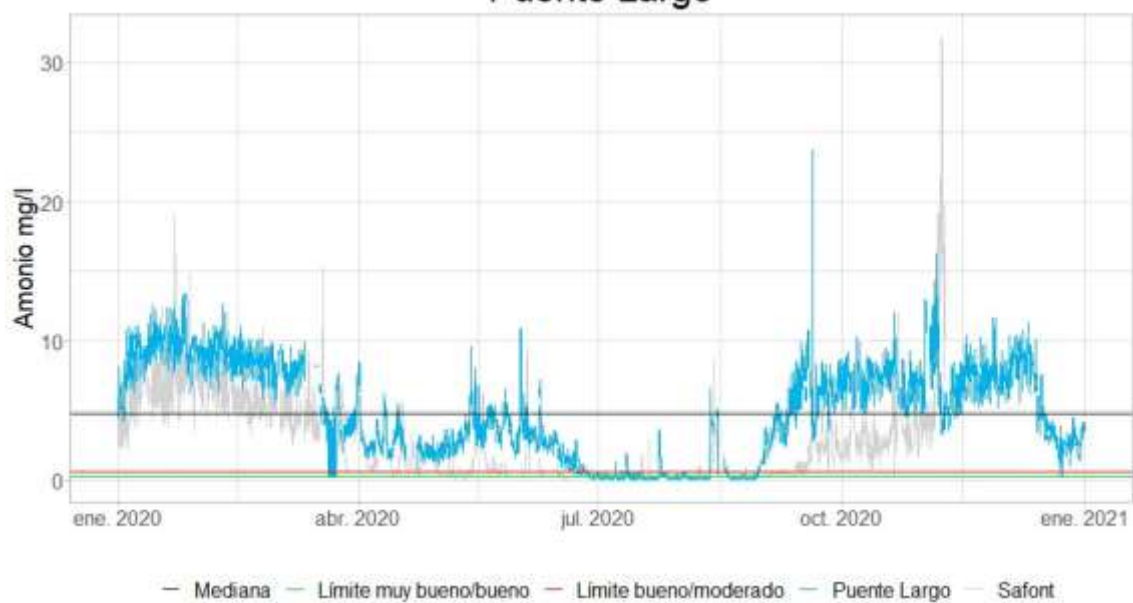
Puente Largo



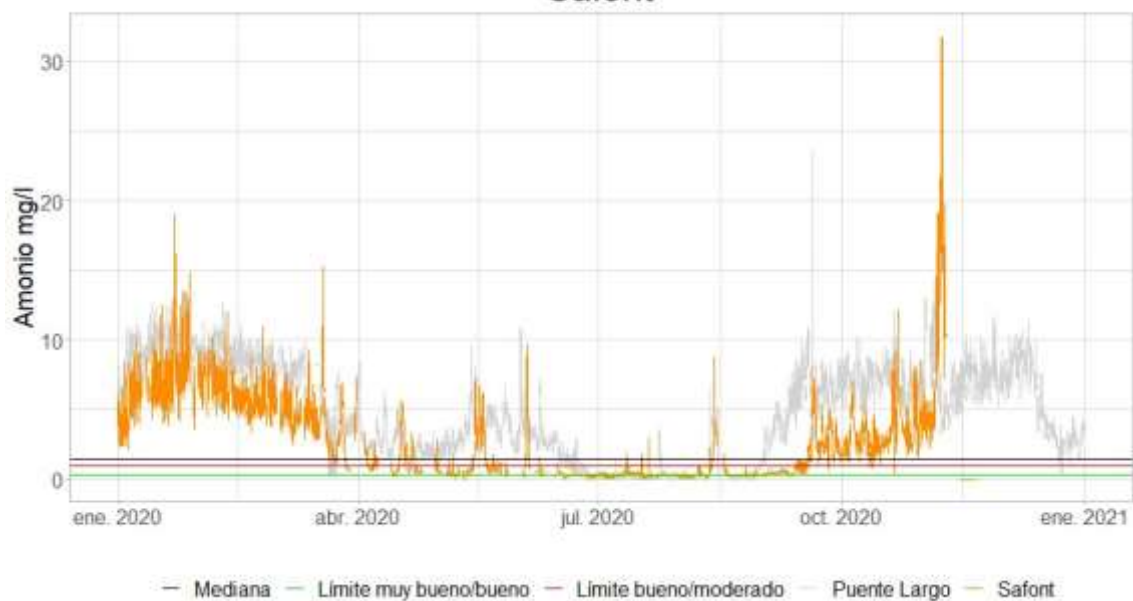
Safont



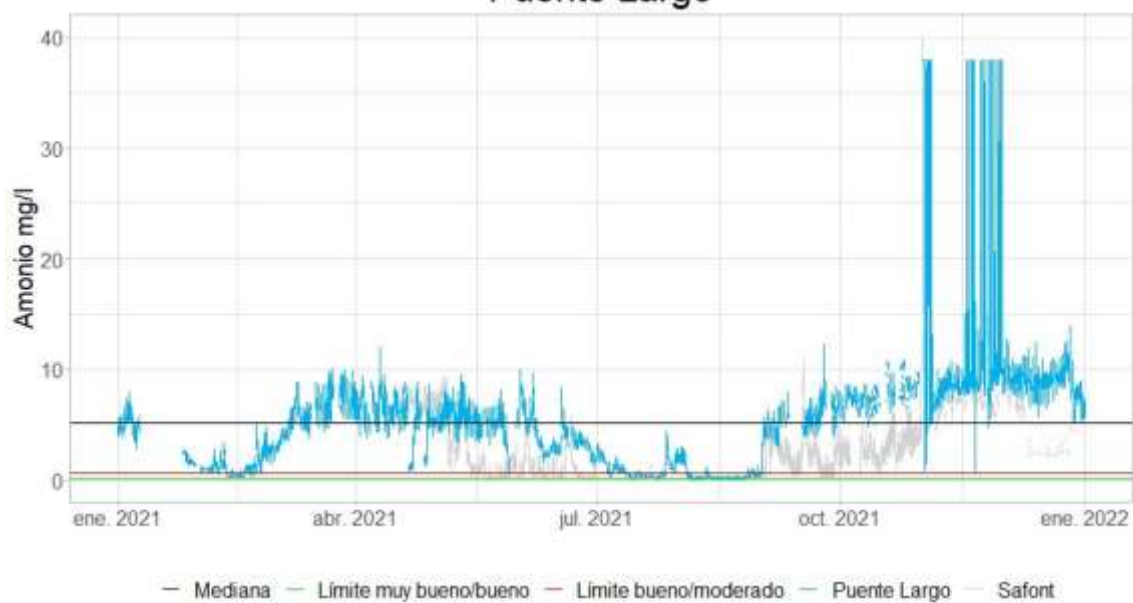
Puente Largo



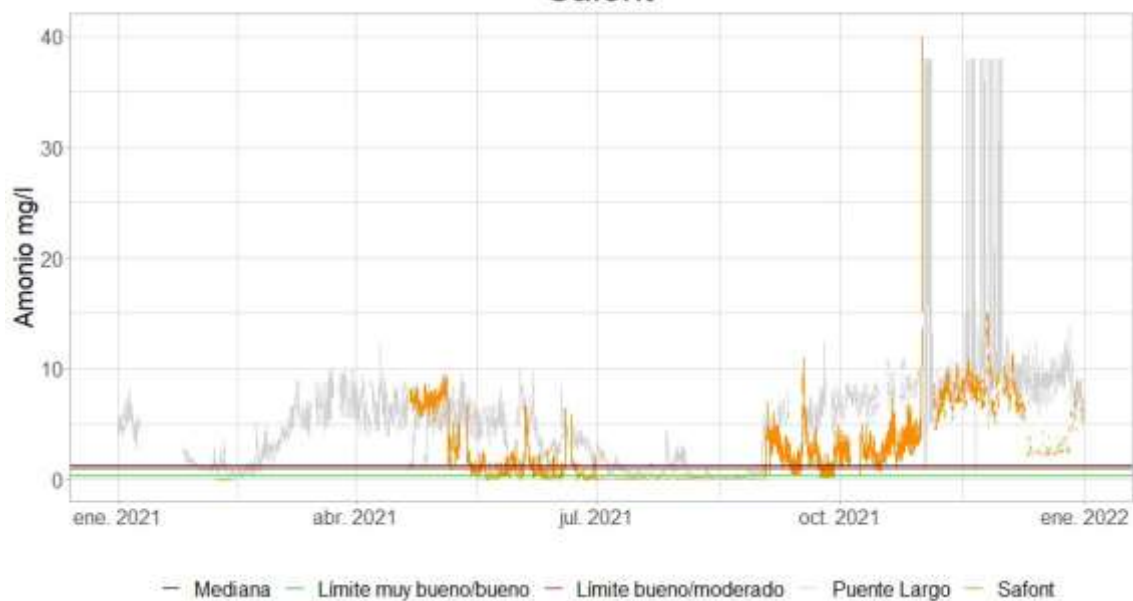
Safont



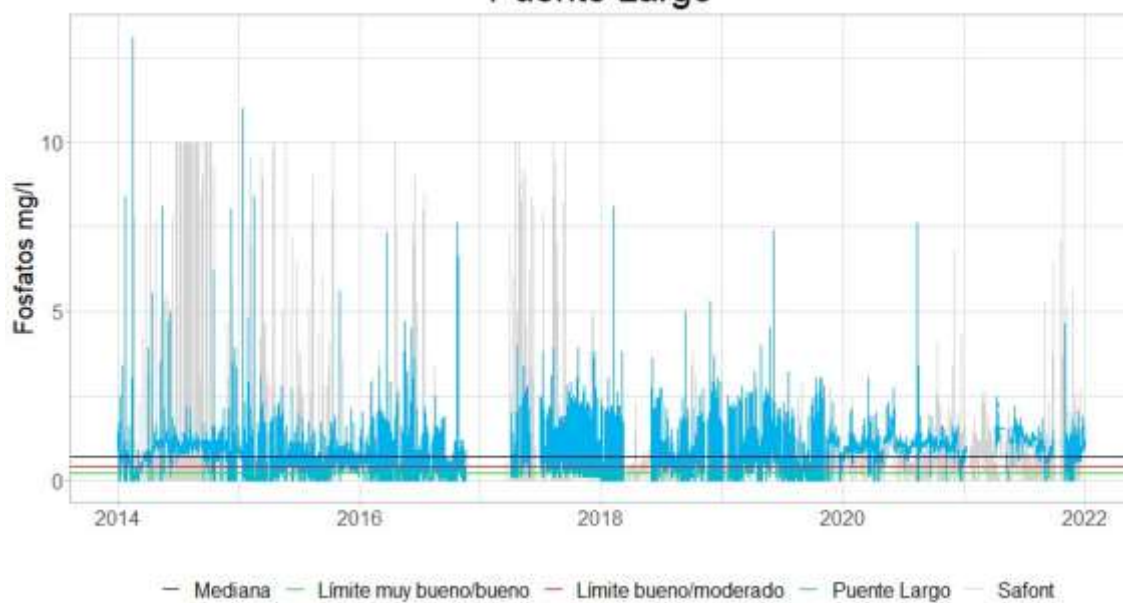
Puente Largo



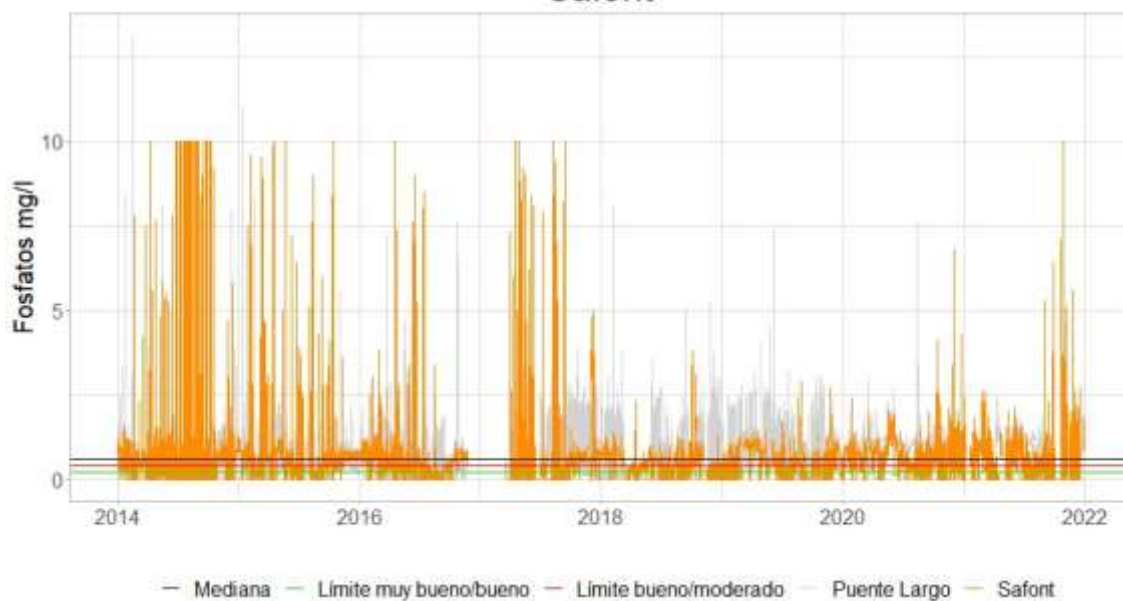
Safont



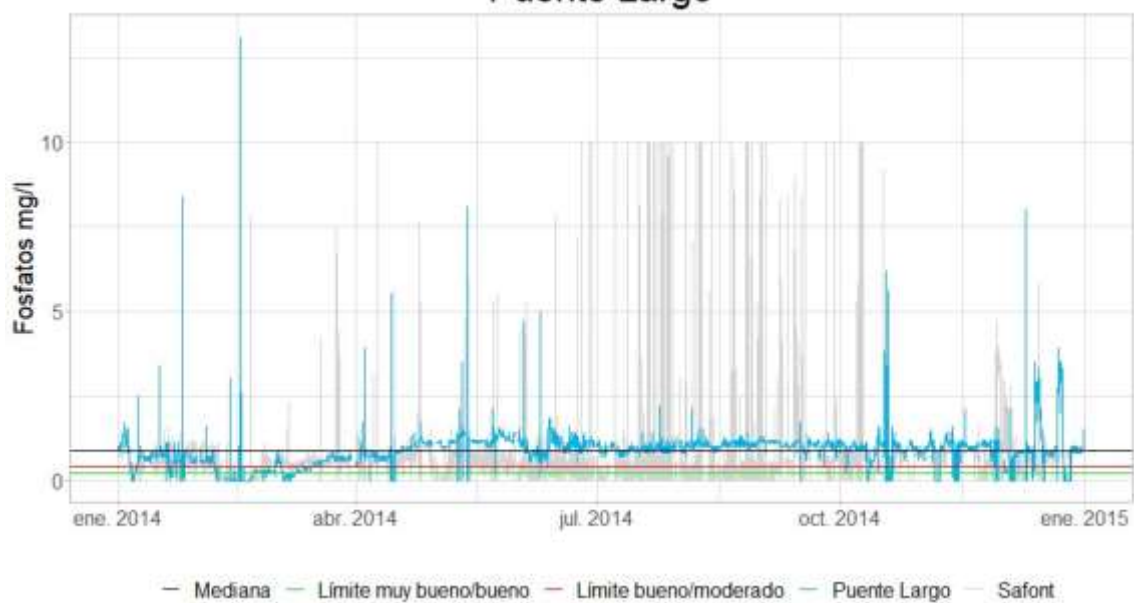
Puente Largo



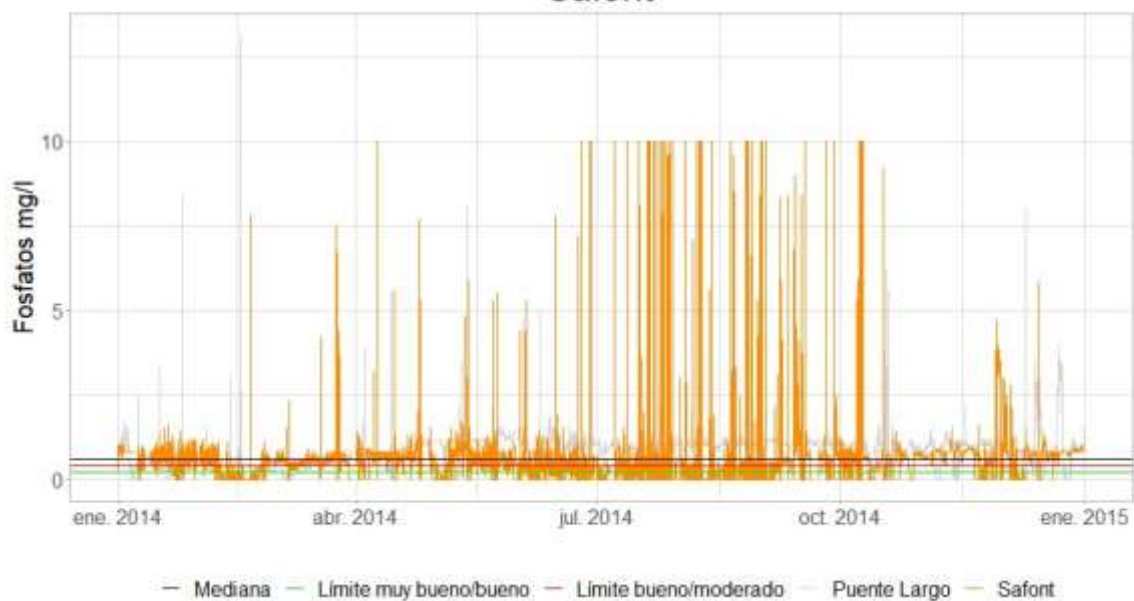
Safont



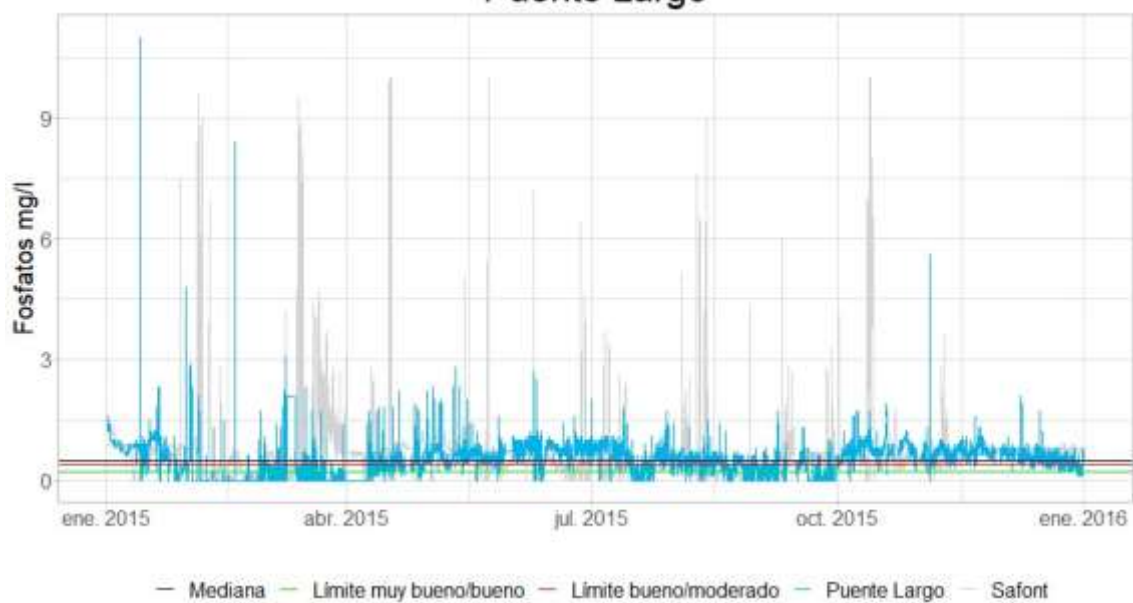
Puente Largo



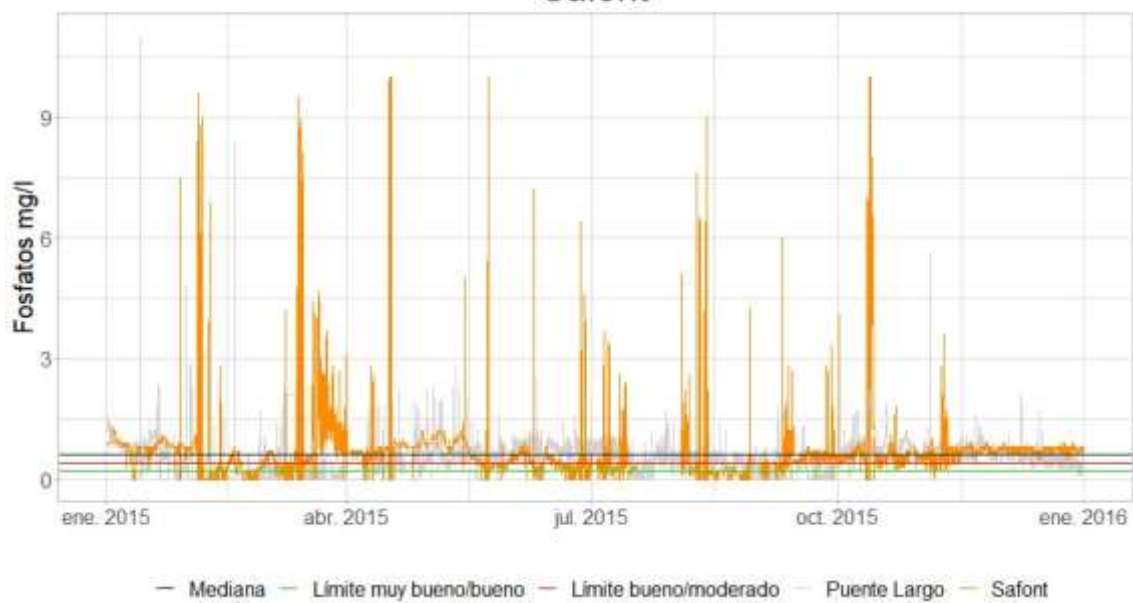
Safont

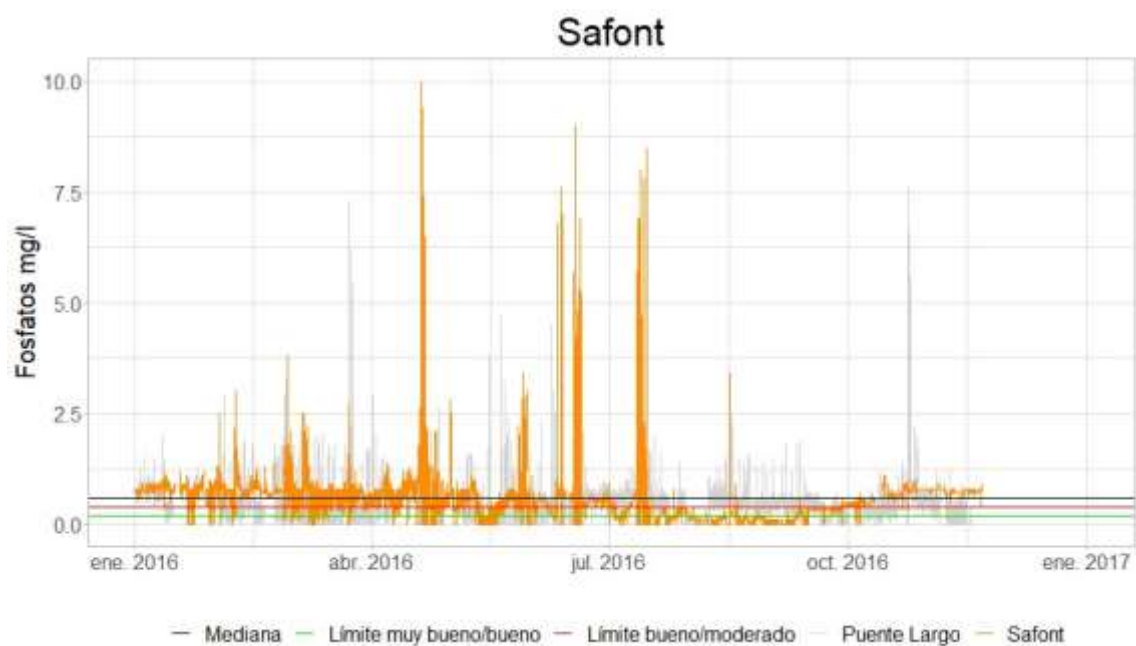
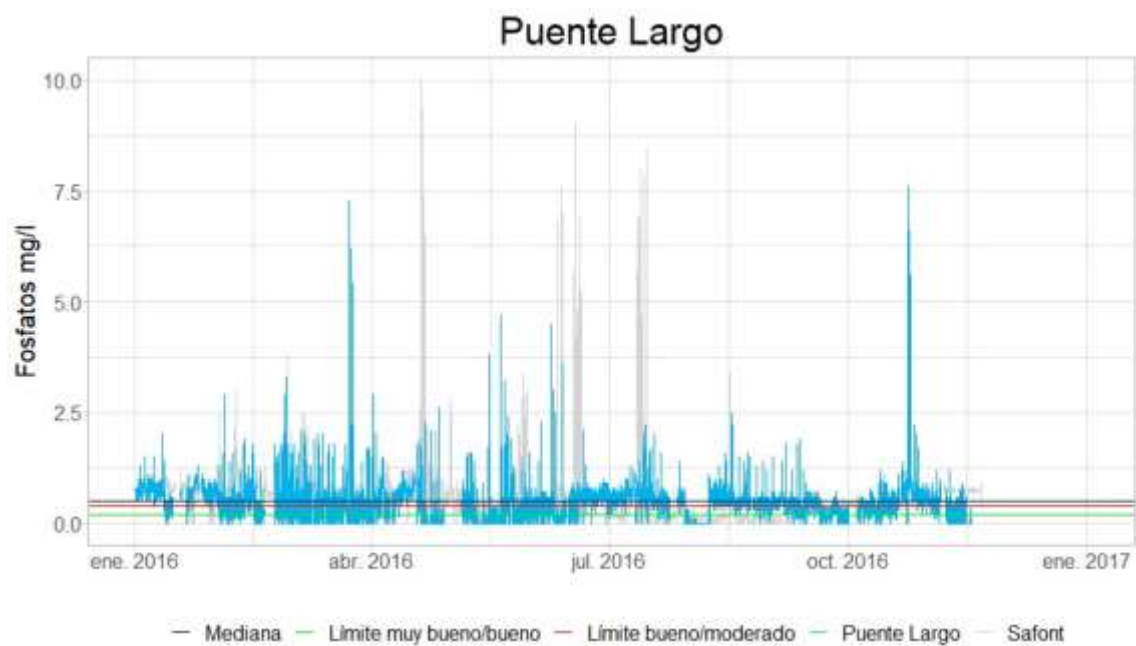


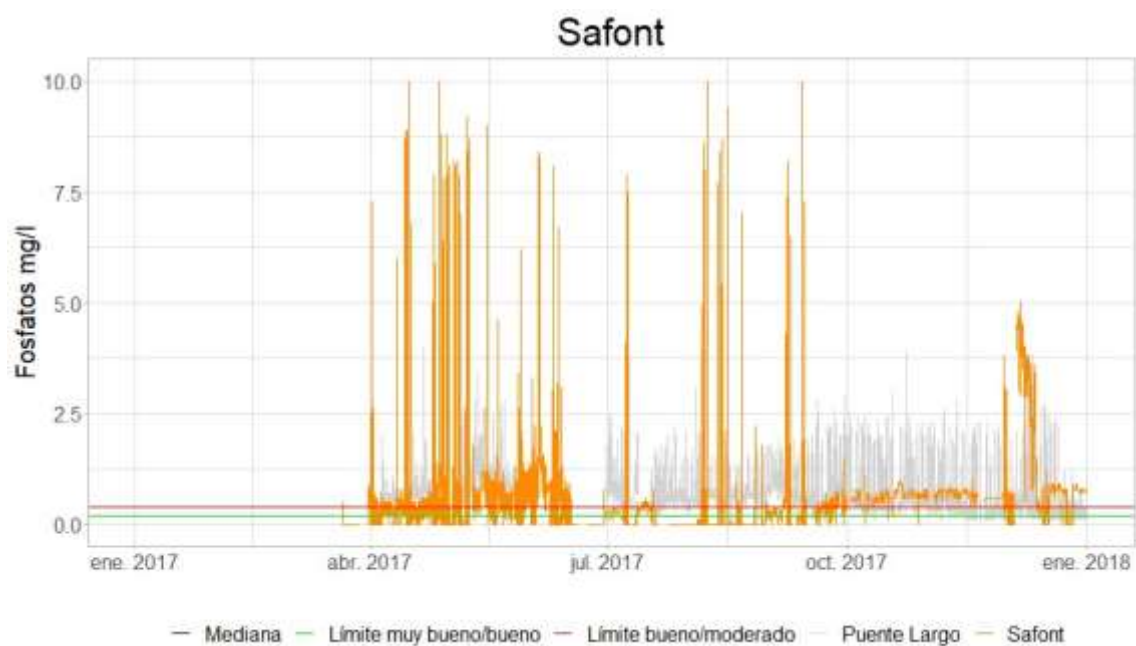
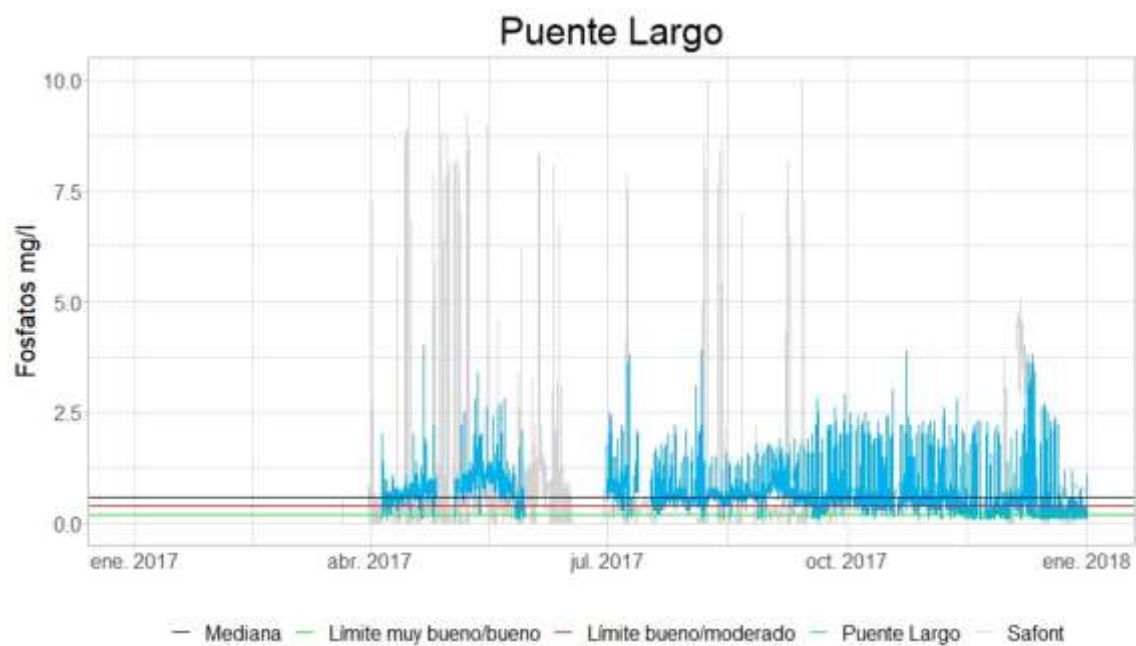
Puente Largo



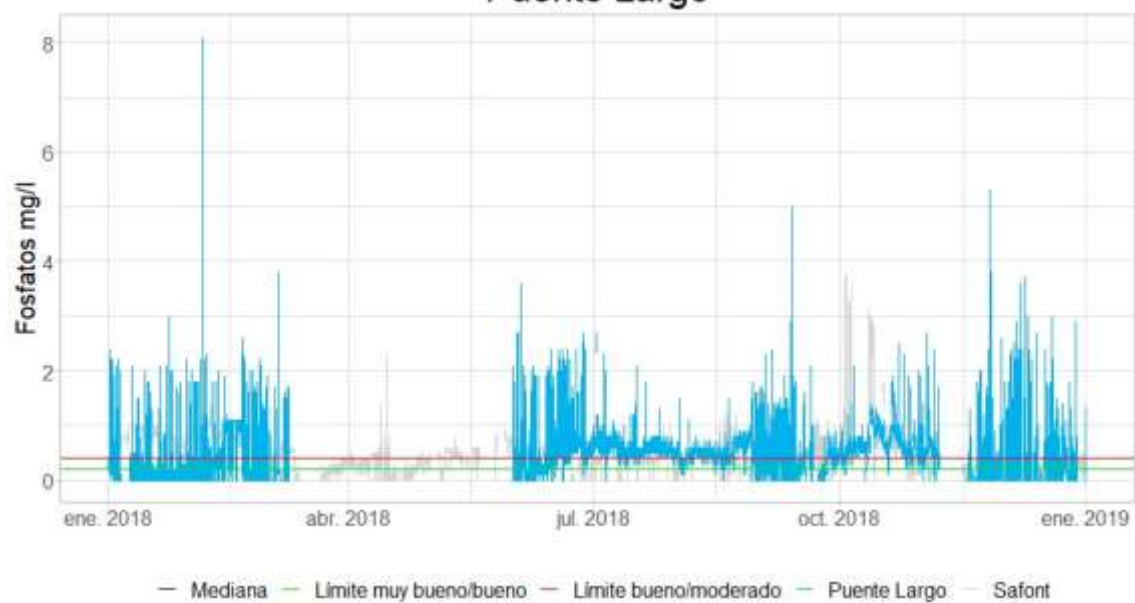
Safont



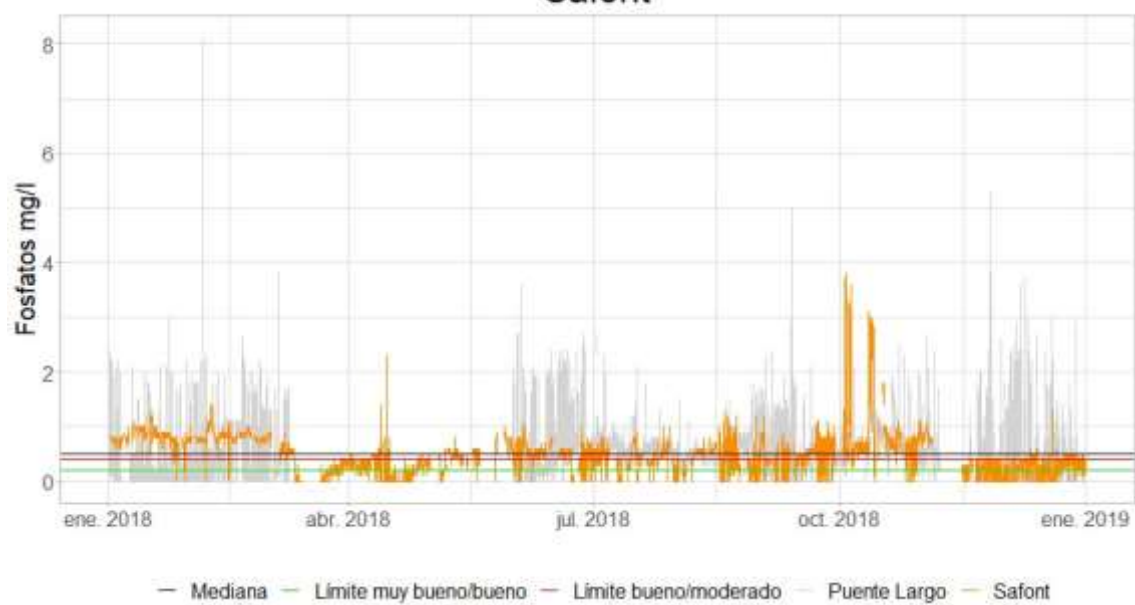


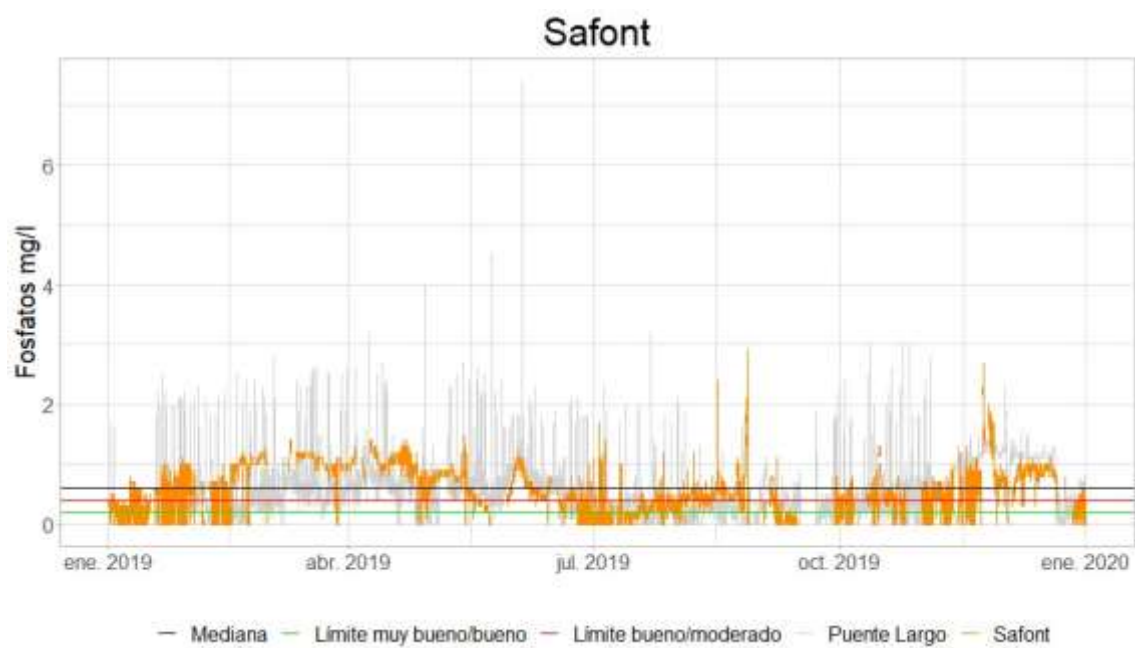
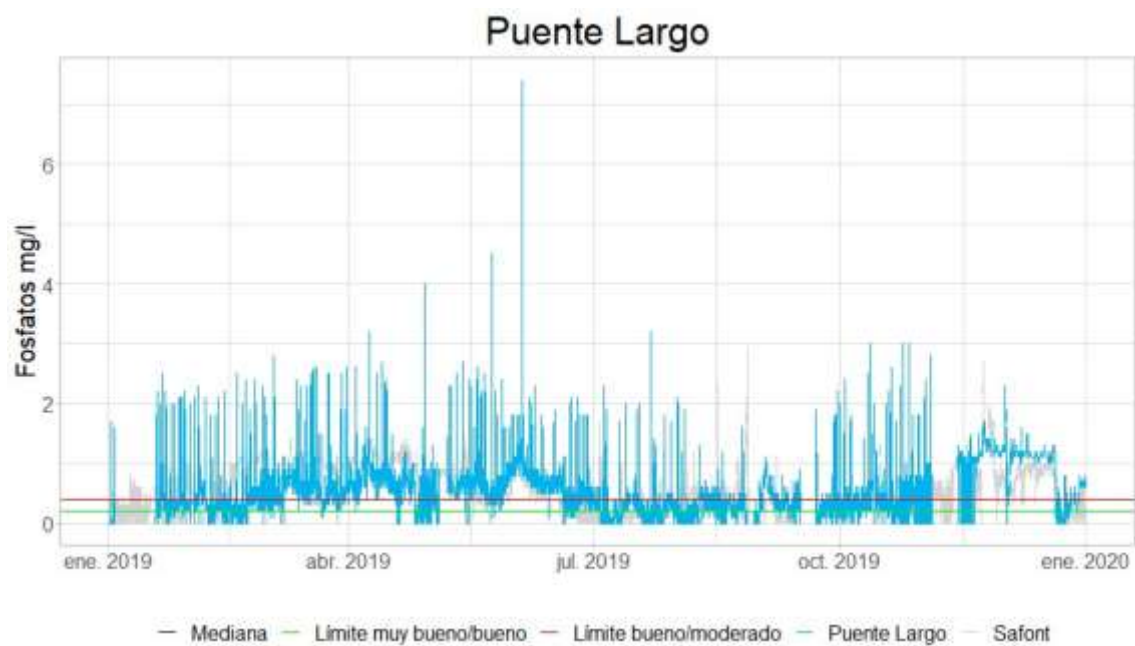


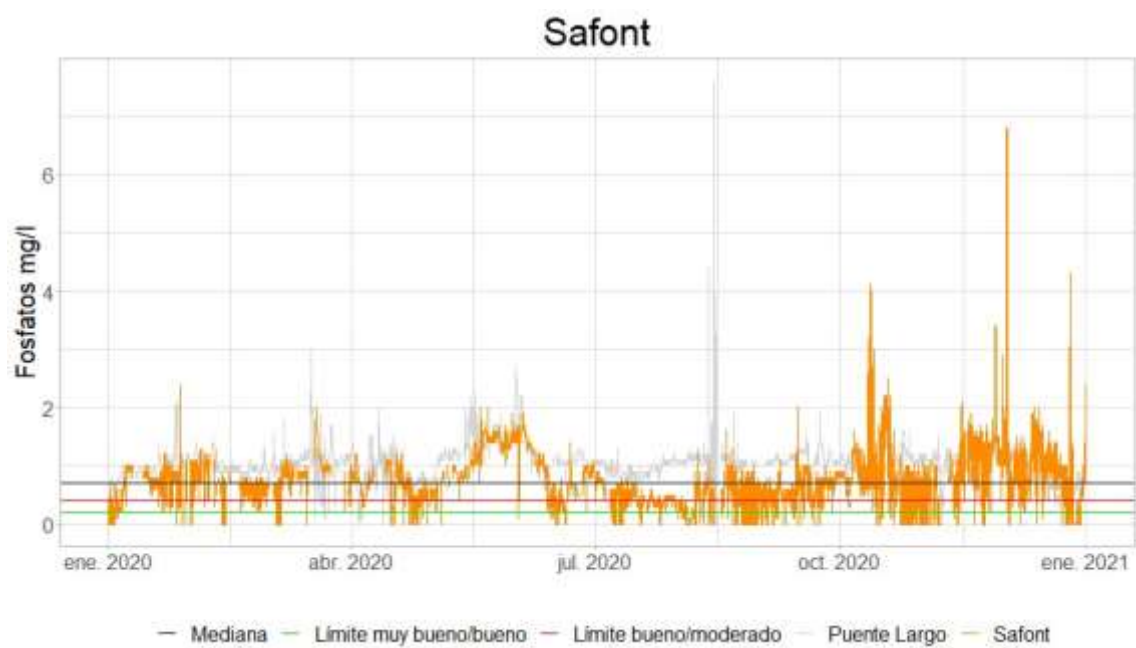
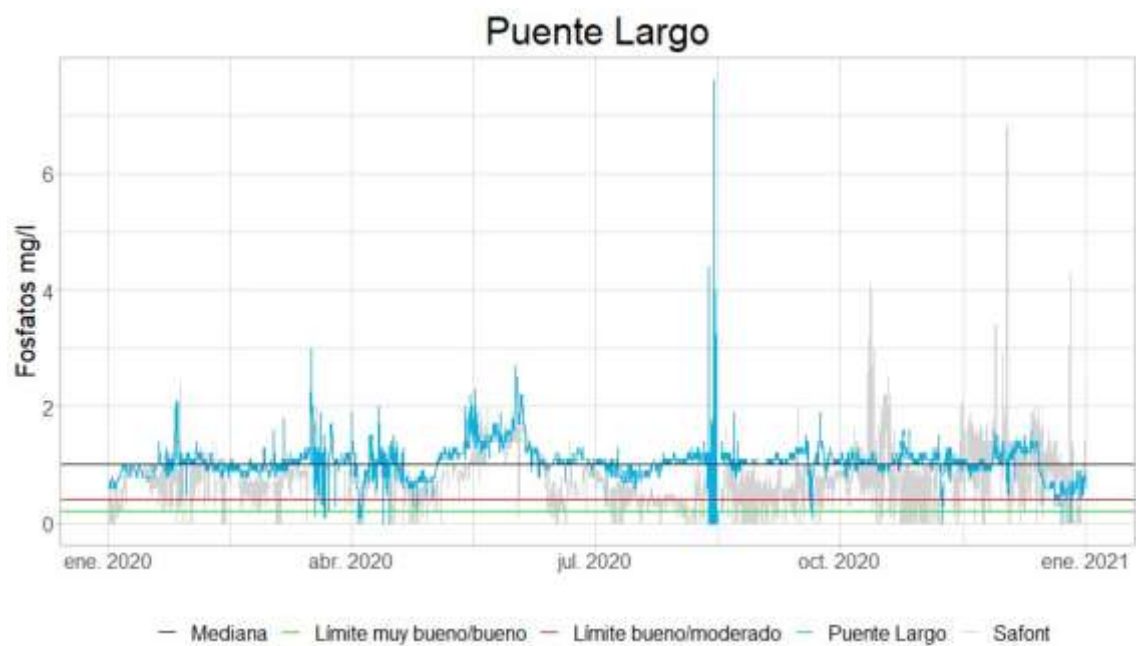
Puente Largo



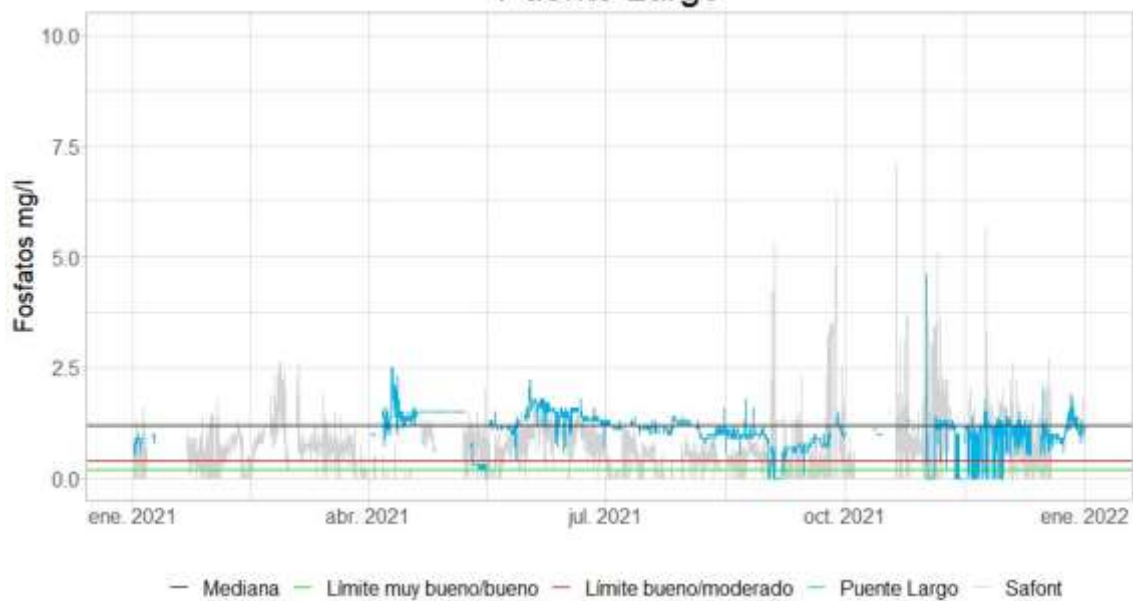
Safont







Puente Largo



Safont

