



Revisión de la calidad de las aguas del río Tajuña en relación con los vertidos urbanos

Autor: Haidar Manla Solana

Institución: Asociacion Vertidos Cero

Otros autores: Laura Bueno Casín (Asociación Vertidos Cero)

Resumen

Los sistemas acuáticos fluviales suponen un factor imprescindible en los ecosistemas, de hecho, forman por sí mismos ecosistemas de ribera con características de vegetación y fauna muy particulares. Por ello, es necesario contar con una buena calidad de las aguas ya que afectan sobre los distintos hábitats. Por ello los vertidos que se realizan sobre los ríos se deben estar controlados y existe una legislación específica para este fin.g

Este estudio se centra en el análisis de las aguas de la cuenca baja del río Tajuña, con el objetivo de conocer la eficacia de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales de la zona. En el área de estudio existen cinco depuradoras que vierten sobre dicho cauce, todas ellas son de reciente construcción y cuentan con procesos de eficacia contrastada por lo que se espera que su vertido no suponga daños sobre el ecosistema acuático.

Una vez realizado el estudio se observa que la calidad del río Tajuña a lo largo del los últimos diez años, en las estaciones de Orusco de Tajuña y Titulcia, pertenecientes a la Red Integral de la Calidad del Agua (red ICA) de la Confederación Hidrográfica del Tajo, se ha mantenido estable, incluso tras la implantación de las depuradoras, aunque en algunos parámetros, tales como la demanda química de oxígeno (DQO), los valores se han visto ligeramente disminuidos.

Se deber tener en cuenta que las Estaciones Depuradoras de la cuenca baja del río Tajuña cuentan con tratamientos convencionales, a pesar de dar servicio a poblaciones relativamente pequeñas. Puesto que la calidad de las aguas se ha mantenido estable tras la implantación de dichas estaciones, habría sido más adecuado utilizar sistemas de depuración blandos ya que suponen un menor coste, son más respetuosos con el medio ambiente, evitan impactos visuales y suelen ser más eficientes en núcleos de escasa población.

Palabras claves: vertidos, aguas continentales, EDAR, calidad del agua

INTRODUCCIÓN

Los sistemas acuáticos fluviales suponen un factor muy importante en los ecosistemas, de hecho, forman por sí mismos ecosistemas de ribera con características de vegetación y fauna muy particulares. Por ello, es muy necesario contar con una buena calidad de las aguas puesto que éstas afectan directamente sobre los distintos hábitats.

Actualmente, los vertidos que se realizan sobre los ríos se encuentran controlados, existiendo legislación específica para el control de éstos. De esta forma, los vertidos sobre cauce, tanto urbanos como asimilables a urbanos, deben contar con una Autorización de Vertido, gestionada por la Confederación Hidrográfica de la cuenca a la que corresponda, en el que se detallan las condiciones y características que deben tener los vertidos para que no supongan una afección negativa sobre el ecosistema.

El área de estudio se encuentra situado en la cuenca baja del río Tajuña, atravesando una serie de zonas denominadas Lugares de Interés Comunitario (LIC) y Zonas de Especial Protección de Aves (ZEPA). Esto debe ser un factor más a tener en cuenta para proteger el ecosistema y aumentar los esfuerzos para que los sistemas acuáticos, y por tanto el ecosistema al cual pertenecen, no se vean contaminados.

OBJETIVOS

Los objetivos del presente estudio son:

- Conocer la situación actual en que se encuentran las aguas del río Tajuña en su tramo bajo (desde Orusco de Tajuña hasta su desembocadura en el río Jarama, a la altura del término municipal de Titulcia) en cuanto a la calidad de éstas para los diferentes usos que se realizan en la zona.
- Estudiar la evolución de la calidad de las aguas de la zona de estudio a lo largo del tiempo utilizando datos bibliográficos.
- Analizar el impacto de los vertidos urbanos realizados por las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales sobre la calidad del medio acuático para diferentes fines.

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

El estudio se ha localizado en el tramo bajo del río Tajuña (Figura 1), desde el municipio de Orusco hasta su confluencia con el río Jarama. La zona objeto de estudio se encuentra dentro de la Comunidad Autónoma de Madrid (CAM), al sudeste de esta, e incluye los municipios de: Orusco de Tajuña, Carabaña, Tielmes, Perales de Tajuña, Morata de Tajuña, Chinchón y Titulcia.

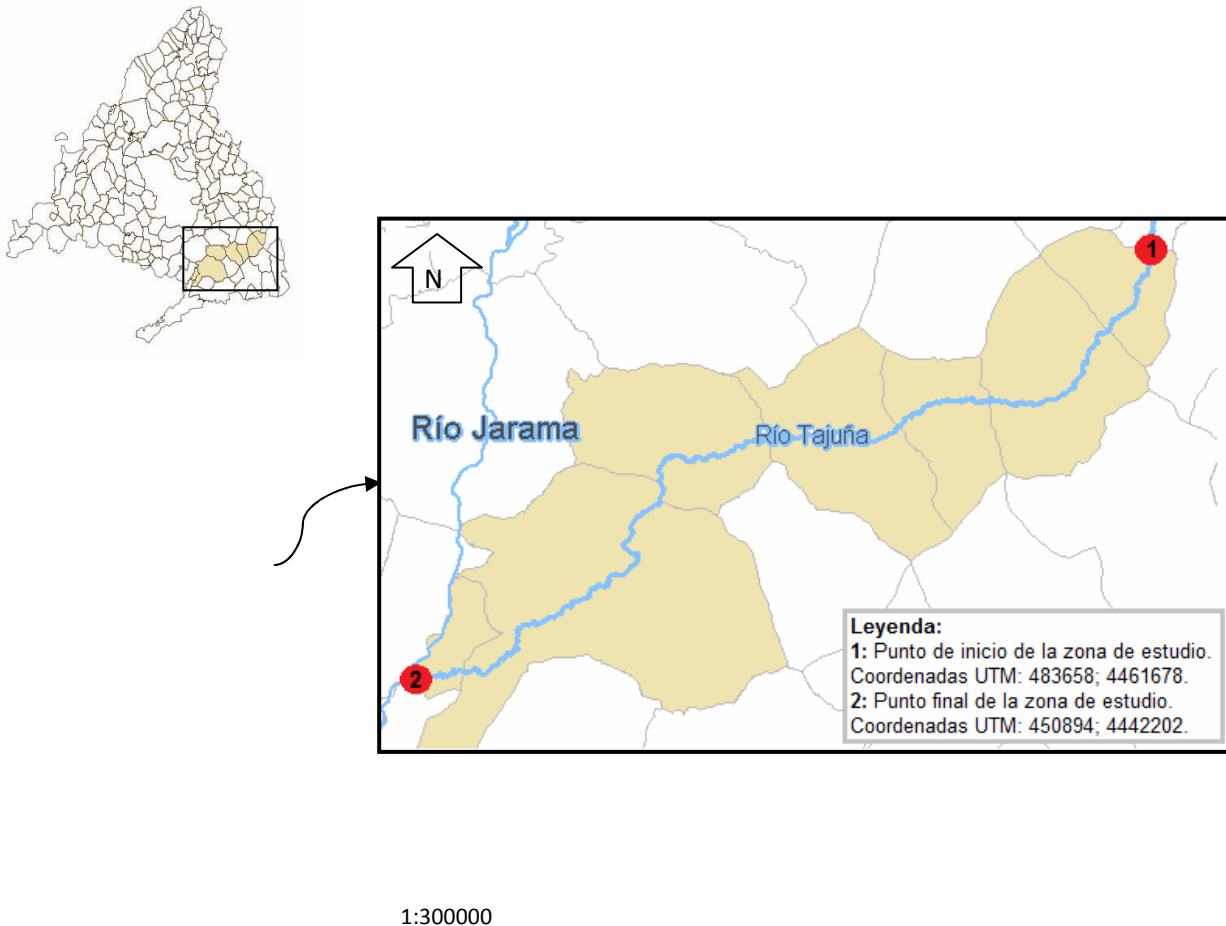


Figura 1 Localización de la zona de estudio dentro de la CAM. Fuente: elaboración propia en base a mapas de Owje y Nomecalles.

La zona de estudio se encuentra caracterizada por un clima mediterráneo continental. Cuenta con una alta variación estacional de temperaturas, siendo los veranos secos y calurosos y los inviernos fríos. La pluviometría media anual se encuentra en el rango de 400-600 mm siendo muy variada a lo largo del año, obteniéndose picos máximos en primavera y otoño.

La cuenca del Tajuña se desarrolla sobre una de las principales depresiones terciarias existentes en la Meseta Ibérica, orientándose su red de drenaje hacia el Océano Atlántico. Se diferencian dos unidades principales: la unidad evaporítica y la unidad calcárea (Kaber, 1984).

En la zona de estudio, principalmente en Morata de Tajuña y Titulcia, se encuentra situado el LIC ‘Vegas, cuevas y páramos del Sureste de Madrid’ (código ES3110006) situado en el extremo sur de la Comunidad de Madrid. Su importancia se debe a sus formaciones florísticas endémicas, relictas y marginales, aportando hábitats de interés (brezales oromediterráneos, matorrales halófitos, pastizales o estepas salinas) (Red Natura, 2000).

Descripción del río Tajuña

El río Tajuña nace en el término municipal de Maranchón (Guadalajara, Castilla la Mancha), en la Fuente del Carro y desemboca en el margen izquierdo del río Jarama a la altura del municipio de Titulcia.

Pertenece a la Cuenca del Tajo, siendo el segundo río más largo de ésta (254 km), tras el propio río Tajo. La superficie de cuenca es de 2.607 km² y el caudal medio de 1,82 m³/s. Únicamente cuenta con el Embalse de La Tajera (409 hectáreas), que se encuentra en la cabecera del río (El Sotillo, Guadalajara).

Este río supone el eje de drenaje principal del acuífero carbonatado ‘Calizas del Páramo de la Alcarria’ (acuífero 030.008), del cual se alimenta, conformando la Unidad Hidrogeológica 03.06 correspondiente a La Alcarria (según el Instituto Geológico Minero de España).

Descripción de los términos municipales

Se incluyen seis términos municipales, sin embargo, Chinchón no se considera objeto de estudio puesto que la Estación Depuradora de Aguas Residuales que da servicio a este municipio no realiza su vertido sobre el río Tajuña, sino sobre el arroyo Carcabillas.

Las características principales de los términos municipales se detallan a continuación (Tabla 1).

Municipio	Superficie (km ²)	Latitud (m)	Población 2010 (hab)	Densidad de población 2009 (hab/km ²)
Orusco de Tajuña	21,38	649	1.198	56
Carabaña	47,67	625	1.991	40
Tielmes	26,60	595	2.581	95
Perales de Tajuña	49,32	594	2.894	58
Morata de Tajuña	45,32	559	7.382	161
Titulcia	10,14	509	1.179	117

Tabla 1 Características generales de los términos municipales del estudio. Fuente: Instituto Nacional de Estadística.

Los sectores económicos predominantes son el secundario y el terciario, de forma que el sector primario apenas tiene importancia, encontrándose en todos los casos por debajo del 6%.

VERTIDOS SOBRE EL RÍO TAJUÑA

Vertidos urbanos

Los vertidos sobre los ríos debidos a actividades urbanas son procedentes principalmente de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales (EDAR's) de que disponen los municipios mencionados. Éstas son las encargadas de recoger las aguas del municipio y tratarlas, eliminando aquellas partículas y otros compuestos que supongan una contaminación sobre el medio, siendo las aguas tratadas vertidas al cauce.

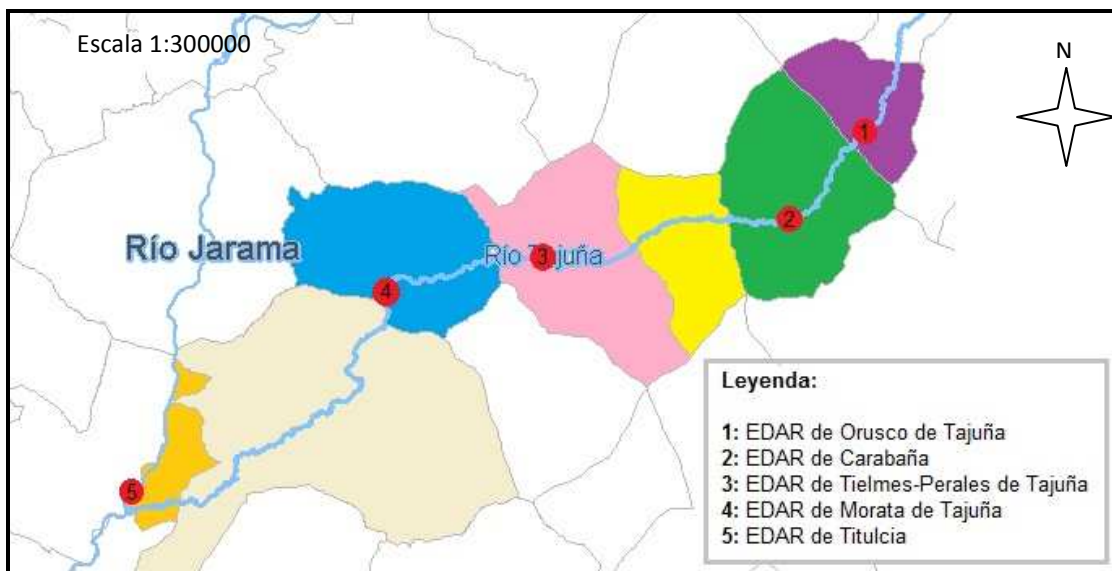


Figura 2 Localización de las EDAR objeto de estudio. Fuente: elaboración propia en base a mapas de Nomecalles.

En el tramo de estudio se encuentran cinco Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales correspondientes a Orusco de Tajuña, Carabaña, Tielmes-Perales de Tajuña, Morata de Tajuña y Titulcia (Figura 2) cuyo vertido se realiza sobre el río Tajuña. Estas depuradoras son de reciente construcción, habiendo sido construidas todas entre los años 2003 y 2005. A continuación se resumen los tratamientos utilizados en las depuradoras (Tabla 2).

TRATAMIENTO			OBSERVACIONES
Línea de aguas	Entrada a la EDAR	Arqueta de colectores	Entrada de agua en la EDAR
		By-pass general	Aliviadero de agua de exceso
	Pre-tratamiento	Pozo de gruesos	Retira sólidos de gran tamaño
		Tamizado y desbaste	Eliminación de sólidos flotantes
		Desarenador-desengrasador	En un mismo canal, mediante decantación (arenas) y aireación (grasas)
	Tratamiento Primario	Decantación	Eliminación de sólidos en suspensión. Alto tiempo de residencia hidráulico
	Tratamiento Secundario	Reactor biológico 'canales de oxidación' (Aireación Prolongada)	Tiempo de residencia hidráulico especialmente alto. Eliminación de materia orgánica
		Eliminación nitrógeno (nitrificación-desnitrificación)	Vía biológica. Alternancia de ambientes aerobios y anóxicos
		Eliminación fósforo (sólo en la EDAR Morata de Tajuña)	Dosificación de cloruro férrico
		Decantador secundario	Separación de agua y fangos
		Recirculación de fangos	En el reactor biológico
	Línea de fangos	Espesador de gravedad	Separación de agua y fangos
Deshidratación mediante centrifuga (en Tielmes-Perales y Morata de Tajuña)		Separación de las dos fases más eficiente	
Almacenamiento de fangos		En tolvas o silos	

Tabla 2 Tratamientos utilizados en las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales de estudio. Fuente: Información facilitada por el Canal de Isabel II.

Las EDAR's de estudio cuentan con una Autorización de Vertido tramitada por la Confederación Hidrográfica del Tajo (CHT). Un resumen de sus vertidos a cauce se indica a continuación (Tabla 3).

	Naturaleza del vertido	Habitantes equivalentes	Volumen (m ³ /año)	Naturaleza medio receptor
EDAR Orusco	Urbano asimilable ^o	2.000-10.000	245.280	Categoría I
EDAR Carabaña	Urbano asimilable ^o	2.000-10.000	463.915	Categoría I
EDAR Perales de Tajuña-Tielmes	Urbano asimilable ^o	>10.000	987.690	Categoría I
EDAR Morata de Tajuña	Urbano asimilable ^o	>10.000	897.900	Categoría I
EDAR Titulcia	Urbano asimilable ^o	<2.000	97.273	Categoría I

Tabla 3 Características de los vertidos de las EDAR's de estudio. Fuente: Censo de Vertidos de la CHT. 2010.

En general, las EDAR's se encuentran gestionadas por la Comunidad Autónoma en que se encuentren, sin embargo, en este caso, en la CAM, es el Canal de Isabel II el encargado de gestionar las depuradoras (según el Decreto 170/1998, de 1 de octubre, sobre gestión de las infraestructuras de saneamiento de aguas residuales de la Comunidad de Madrid).

Otros vertidos

Las industrias y otro tipo de establecimientos, pueden utilizar agua en sus procesos de producción o en su trabajo diario. Esto supone la producción de aguas residuales que deben obtener su correspondiente Autorización de Vertido para poder verterlas en un colector (regulado según la Ley 10/1993, de 26 de octubre, sobre vertidos líquidos industriales al sistema integral de saneamiento) o sobre cauce. En la zona de estudio existen dos vertidos de este tipo sobre el cauce, que cuentan con la correspondiente Autorización de Vertido concedida por la CHT (Tabla 4).

	Naturaleza del vertido	Habitantes equivalentes	Volumen (m ³ /año)	Naturaleza medio receptor
Residencia Isla de Taray (Morata de Tajuña)	Urbano asimilable ^o	<2.000	13.140	Categoría I
Restaurante Los Pradillos (Perales de Tajuña)	Urbano asimilable ^o	<2.000	7.300	Categoría I

Tabla 4 Características de otros vertidos sobre la zona de estudio. Fuente: Censo de Vertidos de la Demarcación Hidrográfica del Tajo. 2010.

ANTECEDENTES. RED DE CALIDAD GENERAL FÍSICO-QUÍMICA

La Demarcación Hidrográfica del Tajo cuenta con una serie de redes de control de calidad. Entre ellas se encuentra la Red de Calidad General Físico-Química (Red ICA). Esta Red cuenta con 331 estaciones localizadas en puntos representativos de la calidad media del tramo controlado, en las que se analizan de forma periódica una serie de parámetros que describen la calidad del agua del río.

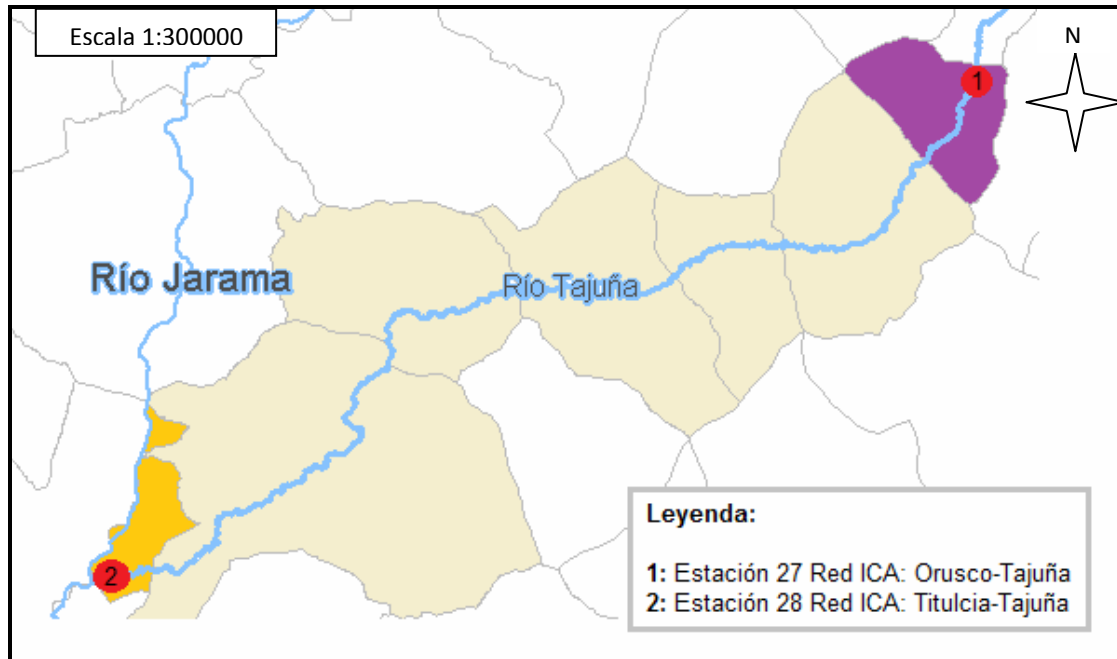


Figura 3 Localización de las Estaciones de la Red ICA en la zona de estudio.
Fuente: elaboración propia en base a Nomecalles.

En la zona de estudio se incluyen dos estaciones de muestreo (Figura 3). Éstas son:

Estación 27. Orusco-Tajuña. Coordenadas UTM (latitud; longitud): 483584; 4461807.

Estación 28. Titulcia-Tajuña: Coordenadas UTM (latitud; longitud): 451203; 4442667.

A continuación (Figura 4) se encuentran representados los valores de los parámetros físico-químicos (temperatura, pH y conductividad eléctrica) obtenidos en los últimos 10 años (en los meses de enero-febrero) en las estaciones ICA de la Demarcación Hidrográfica del Tajo situadas en los municipios de Orusco y Titulcia.

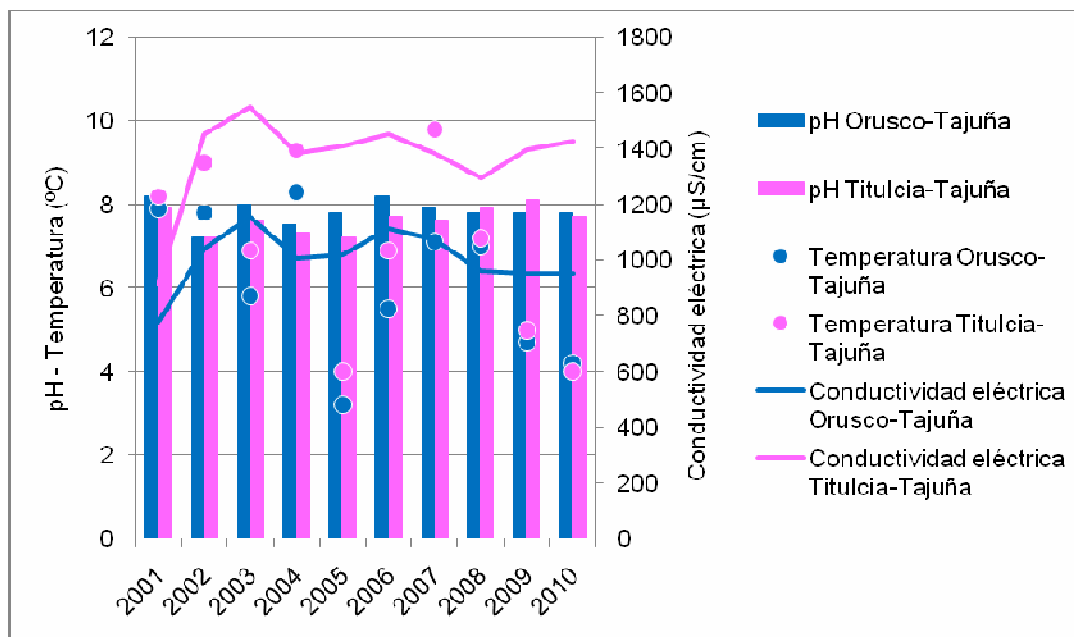


Figura 4 Parámetros físico-químicos. Red ICA. Estaciones Orusco-Tajuña y Titulcia-Tajuña. Fuente: elaboración propia a partir de datos de la Demarcación Hidrográfica del Tajo.

A la vista de los datos (Figura 4), se observa que el pH se mantiene estable a lo largo del tiempo y en ambos puntos del río de estudio. De esta forma, se encuentra en torno a valores entre 7 y 8, por lo que son consideradas aguas con un pH neutro, ligeramente básico.

Se observa que, en general, no existen grandes diferencias de temperaturas a lo largo de los años, encontrándose en todo caso entre 3 y 11°C. Se destaca que la temperatura es similar en ambas estaciones pero siendo siempre mayor en la segunda.

En cuanto a la conductividad eléctrica, se observa como característica común en todos los años de estudio, que ésta es mayor en la Estación de Titulcia respecto de la Estación de Orusco. Esto es debido a que la concentración en sales va aumentando según se avanza en el río, probablemente a causa de los vertidos realizados, ya sean urbanos o industriales, que suponen que la cantidad de iones vaya en aumento y el río no sea capaz de asimilarlos y auto-depurarse.

La demanda biológica de oxígeno (DBO) indica la cantidad de oxígeno necesaria para degradar toda la materia orgánica contenida en el efluente, mientras que la demanda química de oxígeno (DQO) indica la cantidad de sustancias contenidas en el efluente que pueden ser degradadas mediante la acción de un oxidante químico. Los valores de DBO y DQO son indicadores directos de la calidad del agua de un efluente líquido y dan información acerca de la contaminación orgánica de éste.

En la siguiente figura se encuentran representadas la DBO y DQO del agua en las estaciones de Orusco-Tajuña y Titulcia-Tajuña, de la Red ICA, durante los últimos diez años en los meses de enero-febrero (Figura 5).

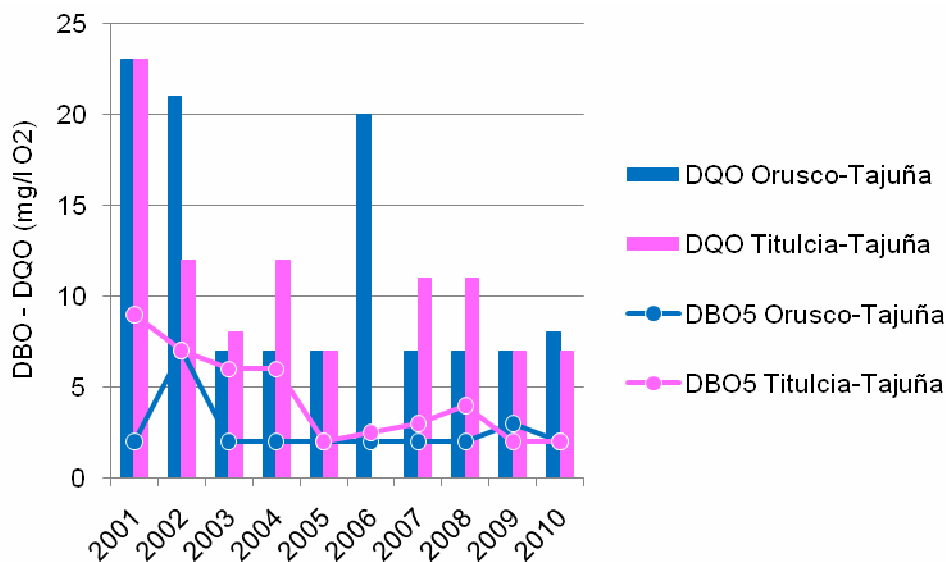


Figura 5 Demanda biológica y química de oxígeno. Red ICA. Estaciones Orusco-Tajuña y Titulcia-Tajuña. Fuente: elaboración propia a partir de datos obtenidos de la Demarcación Hidrográfica del Tajo. Nota: no existe dato de la DQO en el año 2006 en la estación de Titulcia-Tajuña.

En cuanto a la DQO, se observa que, tanto en la estación de Orusco, como en Titulcia, existe una tendencia de disminución a lo largo del tiempo. Comparando ambas estaciones, se observa que cuentan con niveles similares, encontrándose en todo caso en valores inferiores a 25 mg O₂/l, por lo que se encuentra por debajo del límite de vertido a cauce (de 125 mg O₂/l) según el Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.

Respecto a la DBO, se observa nuevamente que se encuentra por debajo del límite de vertido a cauce de 25 mg O₂/l establecido en el Real Decreto 509/1996, y en la mayoría de los casos, por debajo del límite en el cual se considera que un río presenta un buen estado ecológico (límite de 6 mg O₂/l) según la Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica. Sin embargo, se destaca que, sobre todo en los últimos años, la DBO es menor con respecto a la DQO en la estación de Titulcia, en comparación con la estación de Orusco. Esto significa que según se avanza en el río, la contaminación orgánica se mantiene estable, mientras que la carga inorgánica tiende a aumentar, debido probablemente a ciertos vertidos. Aún así, se debe considerar, como ya se ha comentado, que los valores no son especialmente altos, encontrándose dentro de los límites legales.

Otro parámetro importante que debe ser tenido en cuenta para conocer la calidad del agua de un sistema acuático es la concentración de nutrientes y su especiación. Los nutrientes son esenciales para la vida, sin embargo un exceso de éstos puede suponer un problema grave sobre el ecosistema como por ejemplo la eutrofización, por lo que deben ser controlados para llegar a obtener una buena calidad de los ríos.

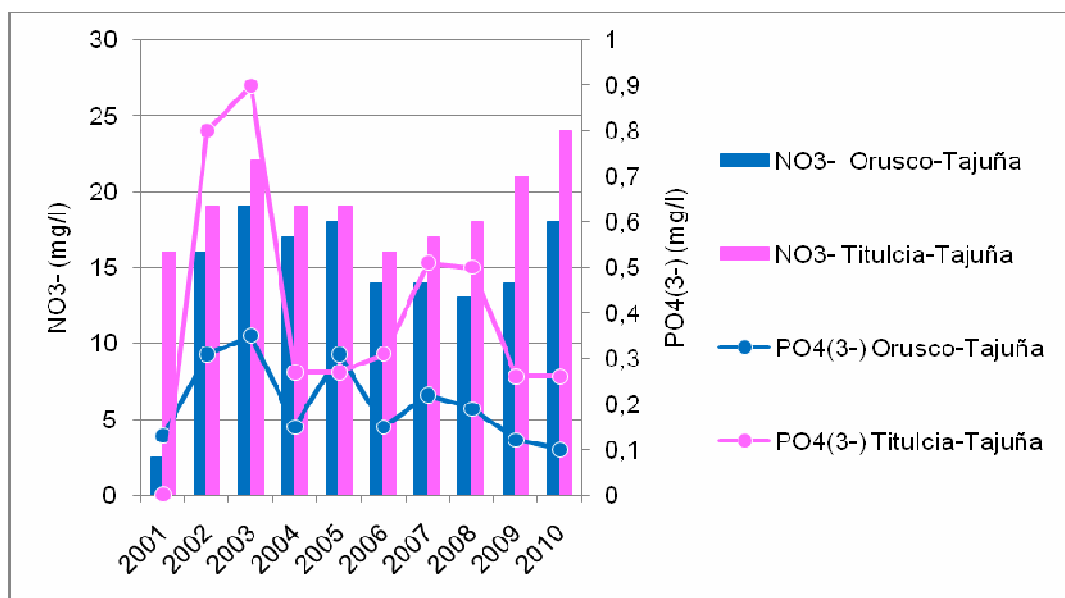


Figura 6 Concentración de nitratos y fosfatos. Red ICA. Estaciones Orusco-Tajuña y Titulcia-Tajuña. Fuente: elaboración propia a partir de datos de la CHT. Nota: no existe dato de fosfatos en el año 2001 en la estación de Titulcia-Tajuña.

En un río, el compuesto nitrogenado que debe destacar es el nitrato, ya que es la forma más oxidada, frente al amonio, que se trata de la especie reducida y apenas debe aparecer. En el caso estudiado, tal y como cabía esperar, los compuesto mayoritarios son, en todos los años, los nitratos, ya que se trata de un efluente oxigenado. Se observa que, en general, a lo largo de los últimos diez años, la concentración de nitratos es aproximadamente constante (Figura 6), aunque se observa un aumento paulatino en ambas estaciones desde los últimos cinco años. Comparando ambas estaciones, se destaca que en la Estación de Titulcia-Tajuña, la concentración de nitratos es ligeramente superior, debido probablemente a los vertidos producidos entre ambas estaciones.

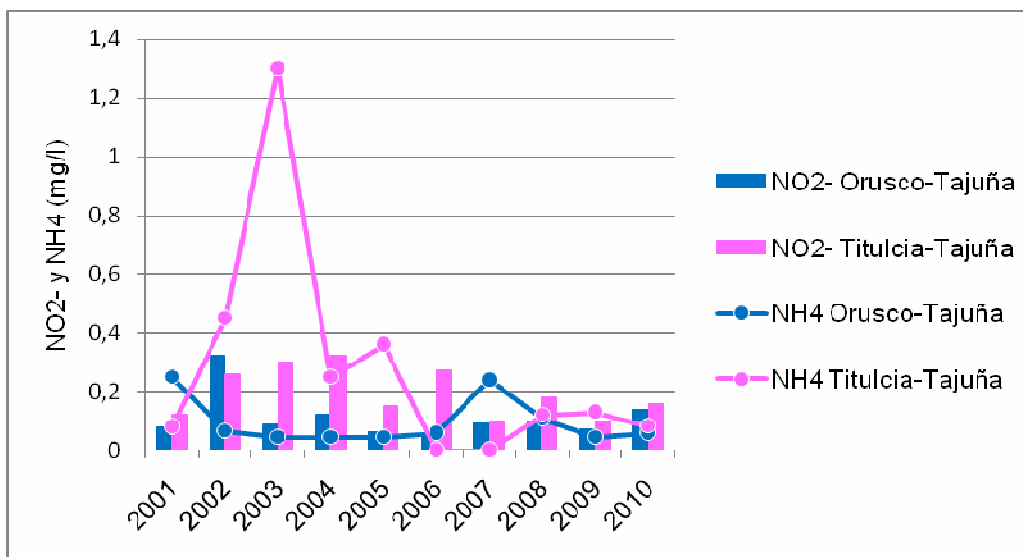


Figura 7 Concentración de nitritos y amonio. Red ICA. Estaciones Orusco-Tajuña y Titulcia-Tajuña. Fuente: elaboración propia a partir de datos de la CHT.

El amonio en un ambiente acuático fluvial no contaminado apenas debe aparecer. En este estudio, los valores de amonio son relativamente bajos, encontrándose, salvo alguna excepción, por debajo de 0,4 mg/l (Figura 7). Se observa que a lo largo de los años, en ambas estaciones, el nivel de amonio se ha mantenido aproximadamente estable. Es de destacar que, tal y como ocurría con los nitratos, la concentración de amonio en la estación de Titulcia-Tajuña aumenta con respecto a la anterior, debido probablemente, como ya se ha comentado, a los vertidos urbanos realizados en dicho tramo de río. En cuanto a los nitritos, éstos se tratan de una especie muy inestable, por lo que apenas deberían aparecer, como sucede.

A pesar de que los compuestos nitrogenados son nutrientes esenciales para la vida y deben formar parte de los ecosistemas, sus niveles no deben ser especialmente elevados para que no se produzcan daños sobre el medio ambiente. De hecho, existe legislación en la que se limita la cantidad de éstos que deben ser vertidos al río y la concentración que debe permanecer en el río para que no afecte negativamente. Así, para considerar que un río cuenta con un buen estado ecológico debe contar con un máximo de 25 mg/l de nitratos y 1 mg/l de amonio (Orden ARM/2656/2008). En este caso, según los datos de la CHT, se puede considerar que el río Tajuña se encuentra con un buen estado ecológico.

Los fosfatos, son nutrientes esenciales para la vida, y análogamente, el exceso de éstos suponen efectos negativos sobre el ecosistema, por lo que deben ser controlados. En la Estación de Orusco-Tajuña, los fosfatos se encuentran en torno a valores entre 0,1 y 0,3 mg/l a lo largo de los diez últimos años, observándose una ligera disminución a partir del año 2006 (Figura 6). Sin embargo, en la estación de Titulcia-Tajuña, se alcanzan valores

de 1 mg/l, aunque a partir del año 2004, se encuentra entre 0,2 y 0,5 mg/l. Este aumento de fosfatos entre las estaciones, es debida, igual que en el caso de los compuestos nitrogenados, a los vertidos realizados entre ambas. Además, la aparición de fosfatos en efluentes líquidos es debida, más concretamente, al vertido de detergentes, que pueden llegar a formar espumas de color blanco en el cauce. Aún así, los valores de fosfatos se encuentran por debajo de los límites establecidos (cuyo valor es un nivel de fósforo menor de 4 mg/l) en la Orden ARM/2656/2008, por lo que el río Tajuña puede considerarse que cuenta con un buen estado ecológico.

DESARROLLO DEL ESTUDIO DE REVISIÓN

Descripción del muestreo

Para la realización del trabajo de campo, se llevó a cabo una campaña de muestreo en enero de 2011. Se tomaron muestras del agua del tramo bajo del río Tajuña aguas arriba y abajo de las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales que se encontraban en la zona (Figura 8). Una vez tomadas las muestras, se realizaron los análisis en base a los métodos dispuestos en la Orden MAM/3207/2006, de 25 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción técnica complementaria MMA-EECC-1/06, determinaciones químicas y microbiológicas para el análisis de las aguas.

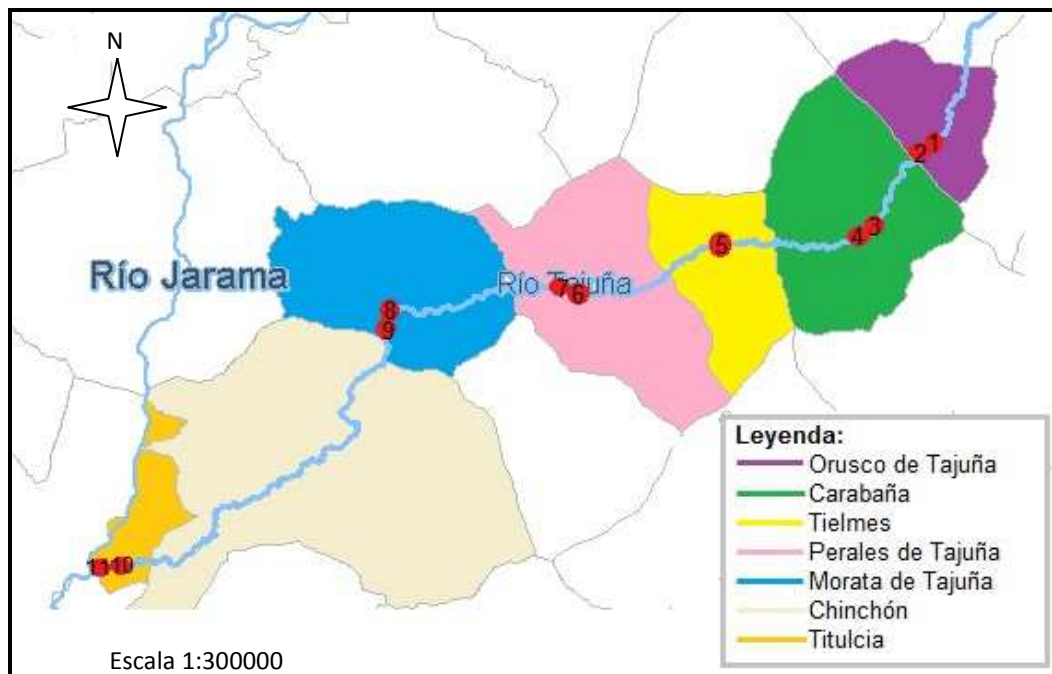


Figura 8 Localización de los puntos de muestreo. Fuente: elaboración propia en base a Nomecalles.

Resultados obtenidos

En cuanto a los parámetros físico-químicos (pH, temperatura y conductividad eléctrica), se observa que no existen grandes variaciones según se va avanzando en el río (Figura 9), ni antes ni después de las estaciones depuradoras. No se observa gran influencia del vertido de las depuradoras sobre estos parámetros.

El parámetro más destacable es la elevada conductividad eléctrica (CE), con valores superiores a los 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, si se tiene en cuenta que se trata de aguas fluviales. Además, la conductividad, va aumentando apreciablemente a lo largo del curso del río, en el punto 1 la CE está en torno a 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y crece hasta casi los 1400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en el punto 11.

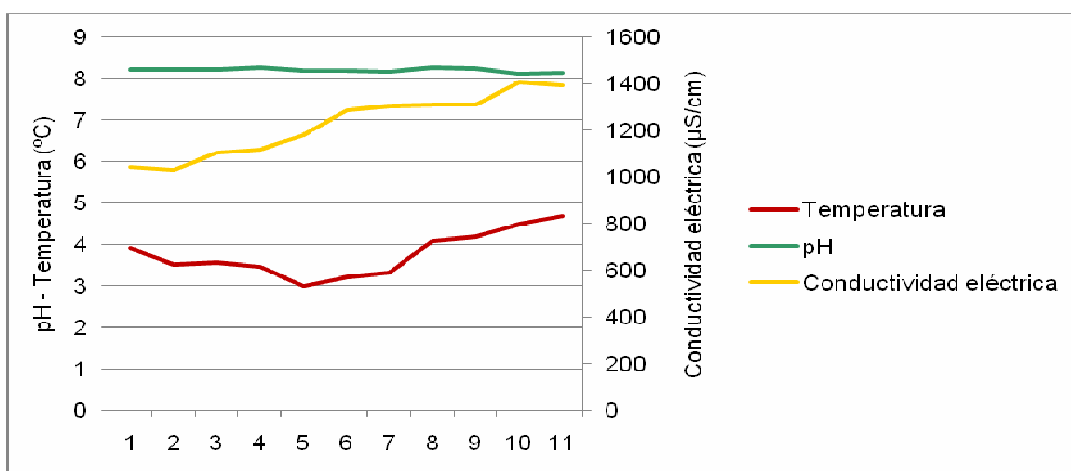


Figura 9 Parámetros físico-químicos analizados. Fuente: elaboración propia.

En cuanto a los datos provenientes de la Confederación Hidrográfica del Tajo (descrito en el apartado 0; Figura 4), se observa una tendencia similar en todos los parámetros. El único parámetro a destacar es la CE, tanto en Orusco de Tajuña como en Titulcia, cuyos valores son ligeramente superiores, respecto a los datos de años anteriores (Figura 10).

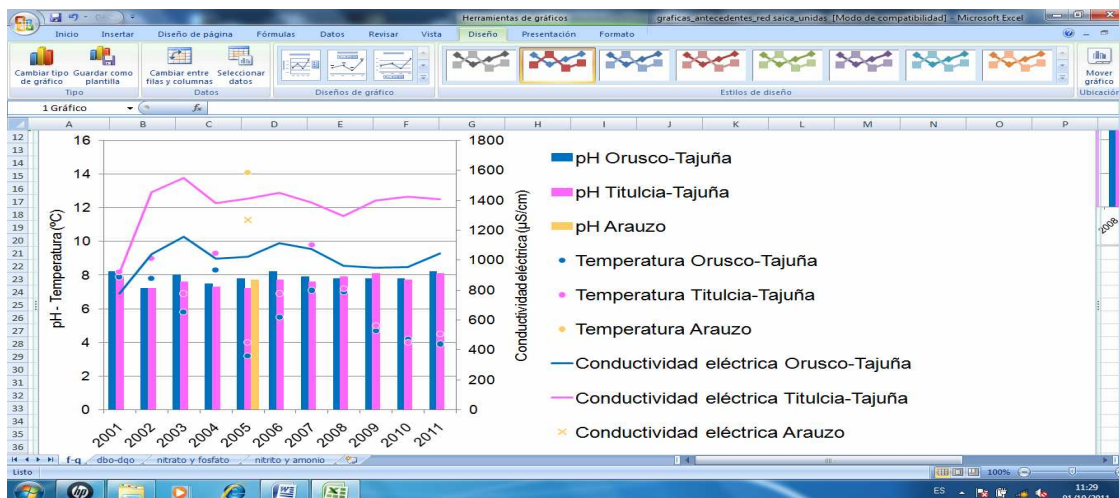


Figura 10 Comparación de los parámetros físico-químicos analizados en este estudio con los datos de la Red ICA y el artículo de Arauzo. Fuente: elaboración propia. Nota: el valor del año 2011 corresponde a los datos obtenidos en este estudio en los puntos de muestreo 1 y 10.

En este caso, la DQO aumenta principalmente en gran medida en las muestras tomadas tras las estaciones depuradoras, a excepción del municipio de Titulcia (Figura 11). En cuanto a la DBO, la cantidad de oxígeno requerido en la mayoría de los casos es nula para degradar la materia orgánica, lo que indica la inexistencia de estos compuestos en el efluente. Sin embargo, en las muestras 4 (tras la depuradora de Carabaña) y 7 (aguas abajo de la depuradora de Tielmes-Perales de Tajuña) se obtienen valores de DBO especialmente altos, siendo éstos superiores a 40 mg/l.

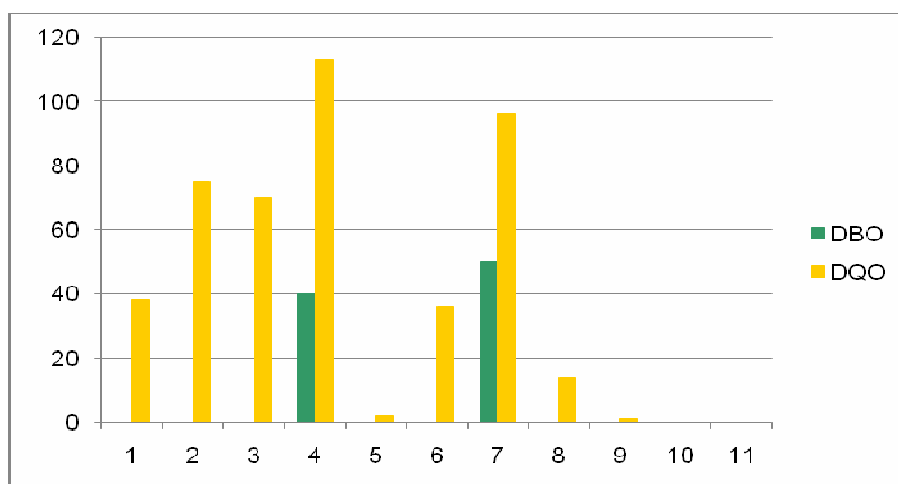


Figura 11 DBO y DQO analizadas en este estudio. Fuente: elaboración propia. Nota: en los puntos 5, 10 y 11 no se determinó la DBO.

En los datos aportados por la CHT (Figura 10), se observa que, la tendencia general, tanto en la estación de Orusco de Tajuña como en la de Titulcia, consiste en una disminución de la DBO a lo largo del tiempo, esto puede ser debido al efecto de la depuradora, de forma que haya dado como resultado una mejora en la calidad de las aguas. En cuanto a la DQO, no se observa una tendencia de disminución tan clara, aunque debe destacarse que los valores son muy inferiores a los obtenidos en el presente estudio (Figura 12).

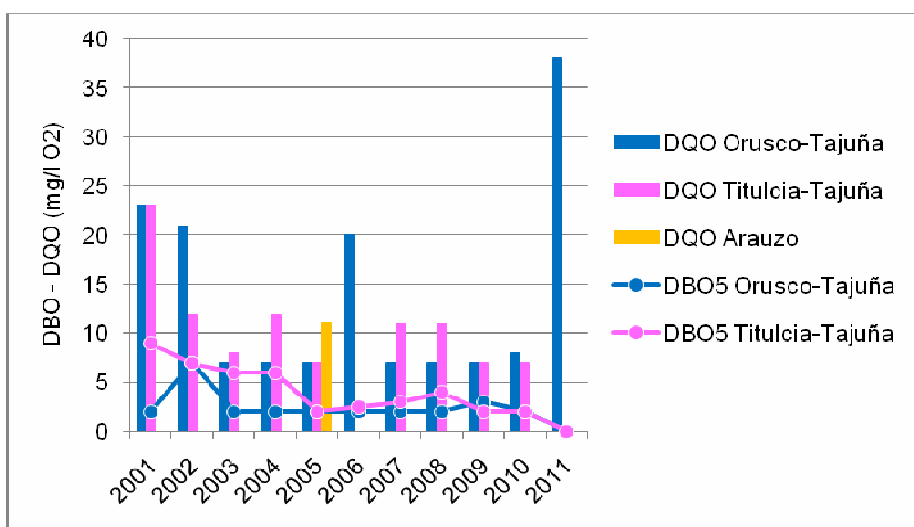


Figura 12 Comparación de la demanda biológica y química de oxígeno analizadas en este estudio con los datos de la Red ICA y el artículo de Arauzo. Fuente: elaboración propia. Nota: el valor del año 2011 corresponde a los datos obtenidos en este estudio en los puntos de muestreo 1 y 10. En la muestra 10 no se realizó la determinación de la DBO.

En lo que respecta a la turbidez, es muy variable a lo largo del río (Figura 13), encontrándose en todos los casos por debajo de 25 FAU. Se observa que en Orusco, Morata de Tajuña y Titulcia, se produce un aumento en este parámetro tras el paso por la depuradora (puntos de muestreo 2, 9 y 11, respectivamente). Cabe mencionar que en la muestra 5 (correspondiente a un punto situado entre los municipios de Tielmes y Perales de Tajuña) la turbidez obtenida fue nula.

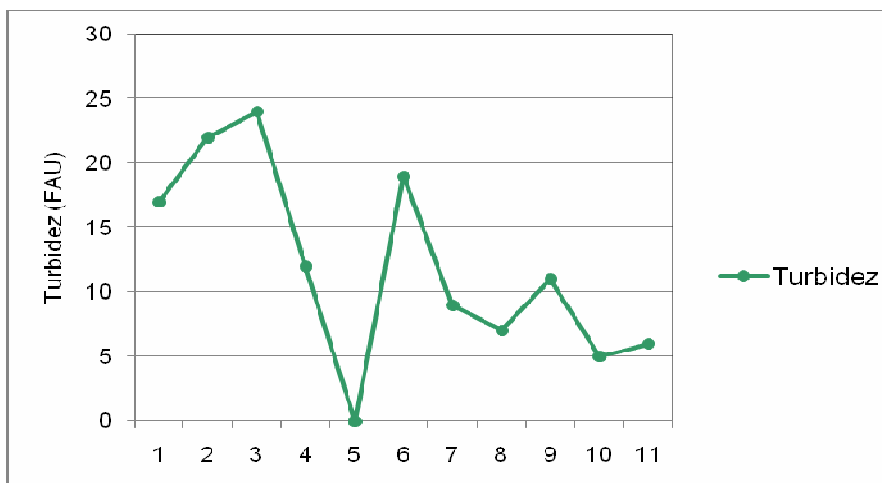


Figura 13 Turbidez analizada en este estudio. Fuente: elaboración propia

En cuanto a los nutrientes, como ya se ha comentado anteriormente, la especie nitrogenada que debería predominar son los nitratos ya que se trata de un sistema fluvial oxigenado, bajo condiciones de oxidación. Efectivamente ocurre así (Figura 14), de forma que los nitratos suponen más del 95% de los compuestos nitrogenados, encontrándose en niveles bastante estables a lo largo del río. El amonio apenas aparece, aunque se observa que en los casos de Tielmes-Perales de Tajuña, Morata de Tajuña y Titulcia aumentan tras el paso por la depuradora (correspondientes a los puntos de muestreo 7, 9 y 11), cuando debería ser al contrario. En cuanto a los nitritos apenas tienen importancia.

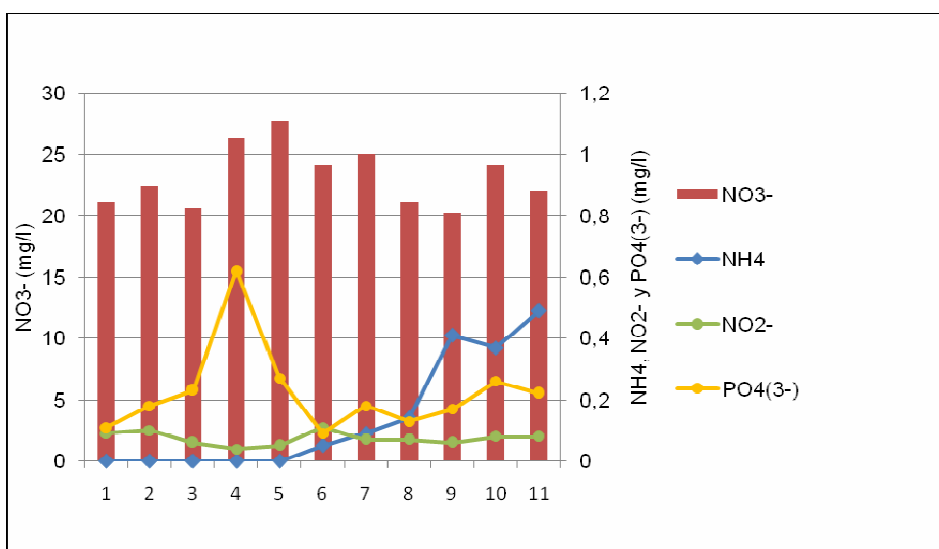


Figura 14 Compuestos nitrogenados y fosfatados analizados en este estudio. Fuente: elaboración propia.

En estudios anteriores (Arauzo *et al*, 2008) se observan valores similares en los compuestos nitrogenados y fosfatados, por lo que parece que la calidad del río se mantiene estable. Igualmente, según datos de la CHT, se observa una tendencia estable de estos compuestos en los últimos diez años. Además, los datos en estas estaciones (Orusco y Titulcia) se corresponden con los obtenidos en el presente estudio, obteniéndose valores muy similares (Figura 15 y Figura 16).

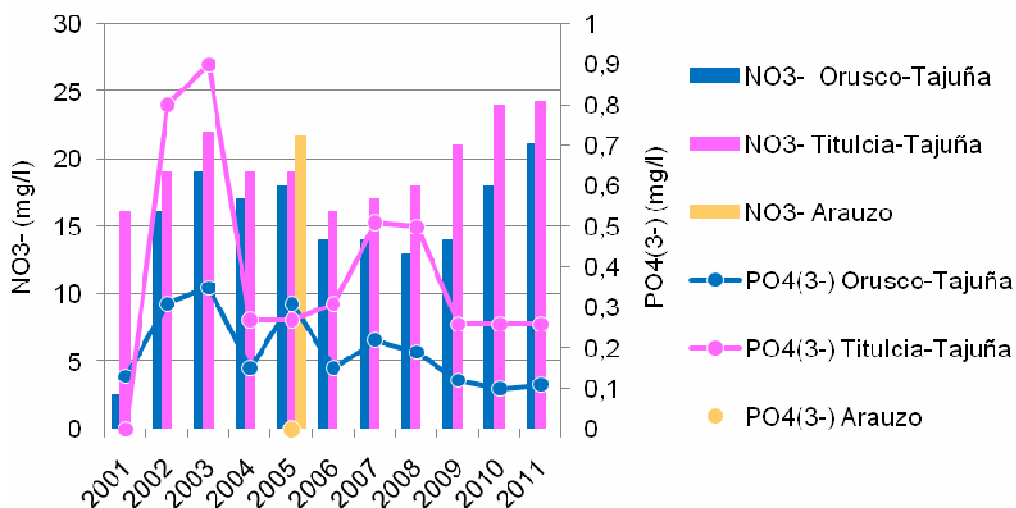


Figura 15 Comparación de la concentración de nitratos y fosfatos analizada en este estudio con los datos de la Red ICA y el artículo de Arauzo. Fuente: elaboración propia. Nota: el valor del año 2011 corresponde a los datos obtenidos en este estudio en las muestras 1 y 10.

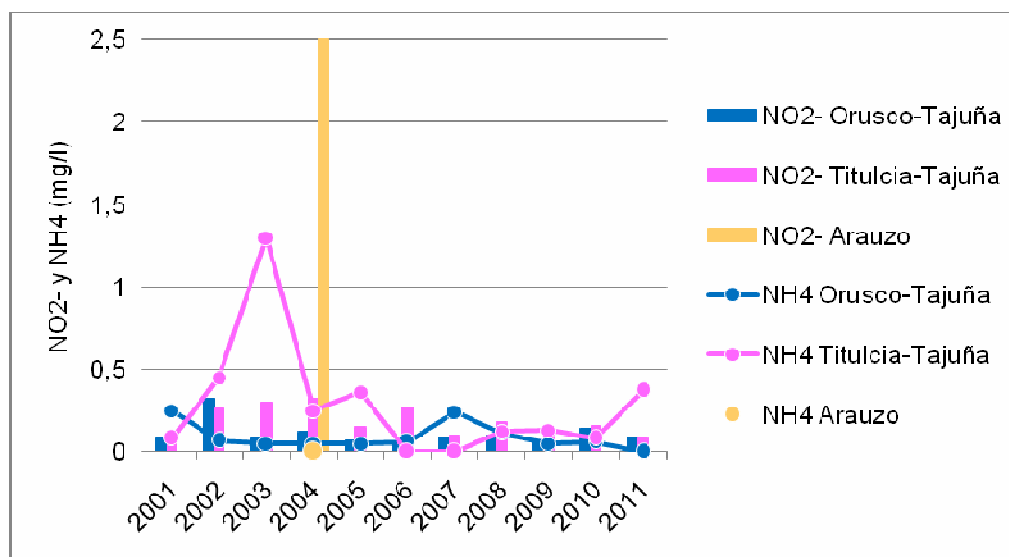


Figura 16 Comparación de la concentración de nitritos y amonio analizada en este estudio con los datos de la Red ICA y el artículo de Arauzo. Fuente: elaboración propia.

propia. Nota: el valor del año 2011 corresponde a los datos obtenidos en este estudio en las muestras 1 y 10.

Comparación de resultados con la legislación

Comparación con límites de vertido a cauce

En el Anexo I del Real Decreto 509/1996 (en base a la Directiva 91/271/CE, de 21 de mayo de 1991, sobre el tratamiento de aguas residuales urbanas), de 15 de marzo, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas. Se detallan seguidamente los requisitos que han de tener los vertidos de depuradoras de aguas residuales a cauce (Tabla 5).

	Concentración	Porcentaje mínimo de reducción
Demanda biológica de oxígeno (DBO ₅ a 20 °C)	25 mg/l O ₂	70-90
Demanda química de oxígeno (DQO)	125 mg/l O ₂	75
Fósforo total	2 mg/l P (de 10.000 a 100.000 h-e) 1 mg/l P (más de 100.000 h-e)	80
Nitrógeno total	15 mg/l N (de 10.000 a 100.000 h-e) 10 mg/l N (más de 100.000 h-e)	70-80

Tabla 5 Requisitos de los vertidos de las aguas residuales sobre cauce. Real Decreto 509/1996, de 15 de marzo, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas.

En cuanto a la DQO, puede observarse que los valores obtenidos en todas las muestras se encuentran muy por debajo de los límites establecidos en la legislación (Figura 11).

DEMANDA BIOLÓGICA Y QUÍMICA DE OXÍGENO

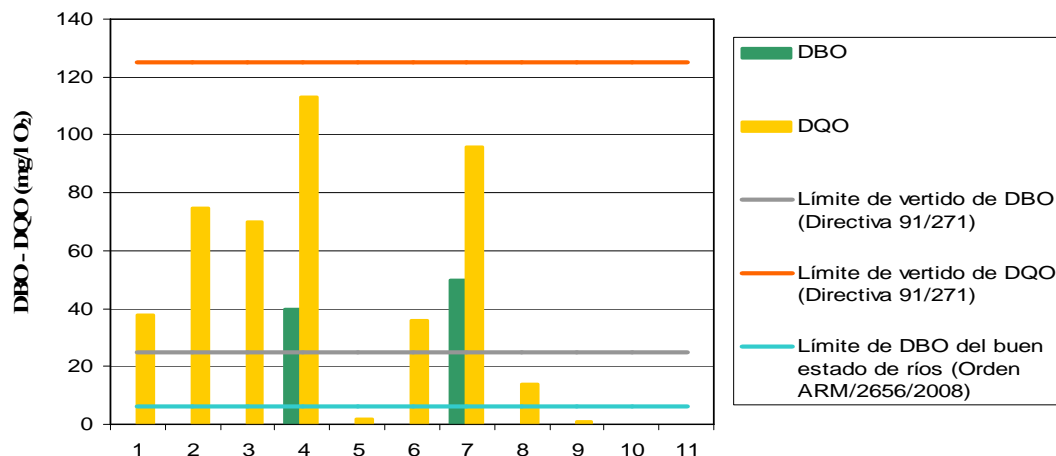


Figura 17 Comparación de DBO y DQO con la legislación. Fuente: elaboración propia. Nota: en los puntos 5, 10 y 11 no fue realizada la determinación de DBO.

En cuanto a la DBO (Figura 17), en los puntos 4 y 7 (tras las EDAR's de Carabaña y Tielmes-Perales de Tajuña) el valor del parámetro supera en gran medida el límite establecido en el Real Decreto.

Se ha de tener en cuenta que esta normativa se refiere al vertido directo de la depuradora, por lo que la muestra debería ser tomada en el punto de salida de la EDAR. En el caso de este estudio, la muestra fue tomada varios metros aguas abajo de la depuradora, por lo que deben tenerse en cuenta dos hipótesis: por un lado, el agua de salida de la EDAR ha podido ser ligeramente diluida en el río, por lo que en el punto de salida los valores serían mucho más altos; por otra parte, al haber tomado la muestra en el río puede haberse producido otro vertido independiente a la EDAR que suponga el aumento de los valores de este parámetro.

En referencia al nitrógeno total, si bien este dato corresponde a la suma del nitrógeno orgánico e inorgánico, en este estudio solo se han realizado las determinaciones del nitrógeno inorgánico (amonio, nitritos y nitratos), aún así, los valores obtenidos se encuentran por encima del valor legal (en algunos puntos llegan a duplicarlo) debido principalmente a la alta concentración de nitratos. Además, es de destacar que esta situación, no solo se da tras el paso por las estaciones depuradoras, sino que se produce en todos los puntos a lo largo del río. Es posible que esto se deba al impacto de las

explotaciones agrícolas, de forma que los compuestos de los abonos orgánicos y demás productos utilizados en agricultura, que no son asimilados por la vegetación, lleguen al cauce. En las depuradoras se cuenta con procesos de nitrificación-desnitrificación, por lo que, en principio, el nitrógeno de las aguas residuales debería ser eliminado en éstas. Sin embargo, según los resultados, se observa que el amonio se elimina transformándose en nitrato, pero éste anión no desaparece, así que no se realiza la desnitrificación, en la que se eliminarían estos nitratos, transformándose en nitrógeno gaseoso.

Comparación con límites del buen estado de los ríos

Según la Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica, se establecen los umbrales máximos para establecer el límite del buen estado de algunos indicadores físico-químicos de los ríos (Tabla 6).

Parámetro	Límite para el buen estado
Oxígeno disuelto	>5 mg/l
Tasa de saturación de oxígeno (%)	60-120
pH	6-9
DBO ₅	<6 mg/l O ₂
Nitrato	<25 mg/l
Amonio	<1 mg/l
Fósforo total	<4 mg/l

Tabla 6 Límites para el buen estado de los ríos. Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por el que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica.

Se debe tener en cuenta que según la 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, se debe alcanzar un buen estado de los ríos antes del año 2015.

En cuanto al pH, se observa que en todas las muestras éste se encuentra dentro de los límites establecidos en la normativa, por lo que, según este único aspecto se podría decir que el río se encuentra bajo un buen estado ecológico.

Sin embargo, como se observó en la Figura 17, los valores de DBO de las muestras 4 y 7 (tras la EDAR de Carabaña y Tielmes-Perales de Tajuña, respectivamente) se encuentran por encima, por lo que en estos puntos del río la calidad de las aguas del cauce no se encuentran en un estado ecológico adecuado para el ecosistema.

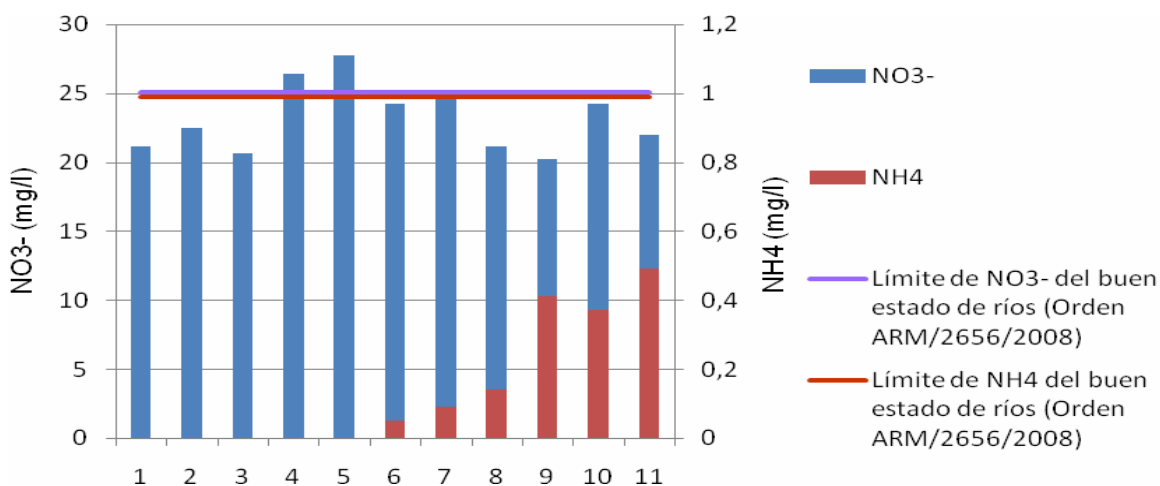


Figura 18 Comparación de nitratos y amonio analizados en este estudio con los límites de buen estado de los ríos. Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica.

En cuanto al nitrato y amonio (Figura 18), se observa que prácticamente todas las muestras se encuentran por debajo de los límites para ser considerado un río con un buen estado ecológico. Sin embargo, debido, probablemente, a la importancia del sector primario en la zona y por los vertidos urbanos o asimilables a urbanos, en el caso de los nitratos, tanto en las muestras 4 (tras la EDAR de Carabaña) y 5 (entre el municipio de Tielmes y Perales de Tajuña), la concentración de éstos supera los límites, y en otras muestras, tales como 6, 7 y 10, los valores se encuentran muy cercanos al límite. Esto supone que la concentración de nitratos en el río es especialmente alta.

Comparación con las normas de calidad ambiental

Existe una serie de normativas que determinan cuáles deben ser los valores de los distintos parámetros ambientales para que se puedan utilizar las aguas para diferentes usos tales como consumo humano, riego e industria.

Aguas para consumo humano

La calidad de las aguas para abastecimiento mediante el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. Dicho Real Decreto fue traspuesto en base a la Directiva 98/83/CE, de 3 de noviembre de 1998, relativa a la calidad de las aguas destinadas a consumo humano.

En su Anexo I se detallan los parámetros por los que se clasifica la calidad del agua para este uso. Estos son: parámetros microbiológicos, parámetros químicos, parámetros indicadores y radiactividad. En este estudio sólo se tratarán aquellos que hayan sido medidos experimentalmente (

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Nitratos	50 mg/l	CE	2.500 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ a 20°C
Nitritos, red de distribución	0,5 mg/l	pH	6,5 – 9,5
Nitritos, salida ETAP/depósito	0,1 mg/l	Sodio	200 mg/l
Bacterias coliformes (100 ml)	0 UFC	Sulfato	250 mg/l
Amonio	0,50 mg/l	Turbidez, salida ETAP/depósito	1 UNF
Cloruro	250 mg/l	Turbidez, red de distribución	5 UNF

Tabla 7).

Parámetro	Valor	Parámetro	Valor
Nitratos	50 mg/l	CE	2.500 $\mu\text{S}/\text{cm}^{-1}$ a 20°C
Nitritos, red de distribución	0,5 mg/l	pH	6,5 – 9,5
Nitritos, salida ETAP/depósito	0,1 mg/l	Sodio	200 mg/l
Bacterias coliformes (100 ml)	0 UFC	Sulfato	250 mg/l
Amonio	0,50 mg/l	Turbidez, salida ETAP/depósito	1 UNF
Cloruro	250 mg/l	Turbidez, red de distribución	5 UNF

Tabla 7 Parámetros para el cumplimiento del Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano

A la vista de los resultados obtenidos (Tabla 8), se observa que las aguas del tramo estudiado del río Tajuña no podrían ser utilizadas para abastecimiento de la población directamente. La razón principal es la existencia de bacterias coliformes, que afectan a la salud humana. Además, los sulfatos también superan en gran medida el valor límite de 250 mg/l establecido en dicho Real Decreto, así como la turbidez. Con todo, se debe tener en cuenta que en este estudio solo se ha realizado la determinación de algunos de los parámetros, por lo que se deberían realizar la totalidad de los análisis. Se puede concluir que las aguas no podrían ser utilizadas para consumo humano.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Nitratos (mg/l)	21,1	22,4	20,7	26,4	27,7	24,2	25,1	21,1	20,2	24,2	22,0
Nitritos (mg/l)	0,09	0,10	0,06	0,04	0,05	0,11	0,07	0,07	0,06	0,08	0,08
Amonio (mg/l)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,09	0,14	0,41	0,37	0,49
Bacterias coliformes (UFC)	0	NR	<1.000	0	<5.000	<1.000	<1.000	<10.000	<1.000	<1.000	<1.000
Cloruro (mg/l)	22,7	22,7	25,6	39,8	28,4	34,1	28,4	34,1	36,9	42,6	42,6
CE (µS/cm)	1044	1032	1106	1120	1180	1290	1306	1312	1311	1407	1393
pH	8,2	8,2	8,2	8,3	8,2	8,2	8,2	8,3	8,2	8,1	8,1
Sodio (mg/l)	32,5	34,7	39,2	36,9	50,3	68,1	68,1	68,1	68,1	72,6	68,1
Sulfato	500	325	550	350	425	550	575	650	550	675	650

(mg/l)											
Turbidez (FAU)	17	22	24	12	0	19	9	7	11	5	6

Tabla 8 Comparación de los parámetros analizados en este estudio con el Real Decreto 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. Nota: Se encuentran marcados en rojo aquellos valores que superan los límites establecidos en dicho Real Decreto.

Calidad de aguas para la producción de agua potable

A pesar de no poder utilizar estas aguas directamente como agua de abastecimiento, sí se podría realizar un tratamiento para su potabilización, siempre y cuando cumplan los requisitos mínimos. La calidad exigida a las aguas que tengan esta finalidad se establece en el Anexo I del Real Decreto 927/1988, de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica.

Parámetro [unidades]	Tipo A1	Tipo A2	Tipo A3
pH	6,5-8,5	5,5 – 9	5,5 – 9
Temperatura [°C]	25	25	25
Conductividad a 20°C [µS/cm]	1.000	1.000	1.000
Nitratos [mg/l NO ₃]	50	50	50
Sulfatos [mg/l SO ₄]	250	250	250
Cloruros [mg/l Cl]	200	200	200
Fosfatos [mg/l P ₂ O ₅]	0,4	0,7	0,7
DQO [mg/l O ₂]	-	-	30
DBO ₅ [mg/l O ₂]	3	5	7
Coliformes totales 37°C (100 ml)	50	5.000	50.000
Coliformes fecales (100 ml)	20	2.000	20.000
Estreptococos fecales (100 ml)	20	1.000	10.000

Salmonellas	Ausente en 5.000 ml	Ausente en 1000 ml	
-------------	---------------------	--------------------	--

Tabla 9 Parámetros de calidad de aguas para la producción de aguas potables, establecidas en el Real Decreto 927/1988, de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica.

Según esta norma, las aguas superficiales susceptibles de ser destinadas al consumo humano quedan clasificadas en los tres grupos siguientes, según el grado de tratamiento que deben recibir para su potabilización (Tabla 9).

Tipo A1: Tratamiento físico simple y desinfección.

Tipo A2: Tratamiento físico normal, tratamiento químico y desinfección.

Tipo A3. Tratamiento físico y químico intensivo, afino y desinfección.

A la vista de los resultados obtenidos (Tabla 10), se observa que, en todas las muestras, ciertos parámetros, tales como pH, temperatura, nitratos o cloruros, se encuentran dentro de los valores límite establecidos en la normativa. Sin embargo, la conductividad eléctrica y los sulfatos aparecen, en todas las muestras, por encima del límite establecido, incluso para el tratamiento de Tipo A3. Esto implica que las aguas del tramo bajo del río Tajuña no podrían ser potabilizadas para poder ser utilizadas como aguas para abastecimiento humano. Además, otros parámetros como la demanda química y biológica de oxígeno también superan los límites en algunos puntos de muestreo para el Tipo A3.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
pH	8,2	8,2	8,2	8,3	8,2	8,2	8,2	8,3	8,2	8,1	8,1
T ^a (°C)	3,9	3,5	3,6	3,5	3,0	3,2	3,3	4,1	4,2	4,5	4,7
CE (µS/cm)	1044	1032	1106	1120	1180	1290	1306	1312	1311	1407	1393
Nitratos (mg/l)	21,1	22,4	20,7	26,4	27,7	24,2	25,1	21,1	20,2	24,2	22,0
Sulfatos (mg/l)	500	325	550	350	425	550	575	650	550	675	650
Cloruros (mg/l)	22,7	22,7	25,6	39,8	28,4	34,1	28,4	34,1	36,9	42,6	42,6

Fosfatos (mg/l)	0,11	0,18	0,23	0,62	0,27	0,09	0,18	0,13	0,17	0,26	0,22
DQO (mg O ₂ /l)	38	75	70	113	2	36	96	14	1	0	0
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	0	0	0	40	NR	0	50	0	0	NR	NR
Bacterias coliformes (UFC)	0	NR	<1.000	0	<5.000	<1.000	<1.000	<10000	<1.000	<1.000	<1.000

Tabla 10 Comparación de los parámetros analizados en este estudio con el Real Decreto 927/1988, de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica. Nota: se encuentran marcados en verde aquellos parámetros que no cumplen con los requisitos del Tipo A1; en azul, aquellos que no cumplen con los Tipos A1 y A2; y, en rojo, aquellos que no cumplen con los Tipos A1, A2 y A3.

Aguas para vida piscícola

Para conocer si la calidad de las aguas de un sistema acuático es óptima para la vida piscícola, se ha de tener en cuenta la Directiva 2006/44/CE, de 6 de septiembre de 2006, relativa a la calidad de las aguas continentales que requieren protección o mejora para ser aptas para la vida de los peces.

De esta forma, según el artículo 4 de dicha Directiva, las aguas continentales que requieran protección o mejora para ser aptas para la vida de los peces quedan clasificadas en los dos grupos siguientes:

Aguas salmonícolas: aguas en las que viven o podrían vivir los peces que pertenecen a especies tales como el salmón (*Salmo salar*), la trucha (*Salmo trutta*), el timalo (*Thymallus thymallus*) y el corégono (*Coregonus*).

Aguas ciprinícolas: aguas en las que viven o podrían vivir los peces que pertenecen a los ciprinidos (*Cyprinidae*), o a otras especies tales como el lucio (*Esox lucius*), la perca (*Perca fluviatilis*) y la anguila (*Anguilla anguilla*).

Parámetro	Aguas salmonícolas	Aguas ciprinícolas
Temperatura (°C)	1. La temperatura media aguas abajo de un vertido térmico (en el límite de la zona de mezcla) no deberá superar la temperatura natural en más de:	
	1,5 °C	3 °C
	2. El vertido térmico no deberá tener como consecuencia que la temperatura en la zona situada aguas abajo del punto de vertido térmico (en el límite de la zona de mezcla) supere los valores siguientes:	
	21,5	28
	10	10
	El límite de la temperatura de 10 °C no se aplicará sino a los períodos de reproducción de las especies que tienen necesidad de agua fría para su reproducción y exclusivamente a las aguas que puedan contener dichas especies.	
Los límites de las temperaturas podrán, sin embargo, ser superados durante el 2% del tiempo.		
pH	6-9	6-9
DBO (mg/l O ₂)	≤3	≤6
Nitritos (mg/l NO ₂).	≤0,01	≤0,03
Amonio total (mg/l NH ₄).	≤1	≤1

Tabla 11 Parámetros descritos en la Directiva 2006/44/CE, de 6 de septiembre de 2006, relativa a la calidad de las aguas continentales que requieren protección o mejora para ser aptas para la vida de los peces.

A la vista de los resultados obtenidos en las medidas (

Tabla 12) y en base a los requisitos legales (Tabla 11), se observa que las aguas muestreadas del río Tajuña cuentan con valores especialmente altos de nitritos para poder ser aptas para la vida piscícola, tanto salmonícola como ciprinícola, ya que se encuentran en valores entre 0,04 y 0,11 mg/l. En cuanto al resto de los parámetros medidos, éstos se encuentran por debajo de los límites legales, salvo en el caso de la

DBO en que el límite se encuentra en 3 mg/l (aguas salmonícolas) y 6 mg/l (aguas ciprinícolas). De esta forma, las muestras 4 y 7 (tras las depuradoras de Carabaña y de Tielmes-Perales de Tajuña respectivamente) cuentan con valores por encima de los límites.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
T ^a (°C)	3,9	3,5	3,6	3,5	3,0	3,2	3,3	4,1	4,2	4,5	4,7
pH	8,2	8,2	8,2	8,3	8,2	8,2	8,2	8,3	8,2	8,1	8,1
DBO ₅ (mg O ₂ /l)	0	0	0	40	NR	0	50	0	0	NR	NR
Nitritos (mg/l)	0,09	0,10	0,06	0,04	0,05	0,11	0,07	0,07	0,06	0,08	0,08
Amonio (mg/l)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,09	0,14	0,41	0,37	0,49

Tabla 12 Comparación de los parámetros analizados en este estudio con la Directiva 2006/44/CE, de 6 de septiembre de 2006, relativa a la calidad de las aguas continentales que requieren protección o mejora para ser aptas para la vida de los peces. Nota: Se encuentran marcados en rojo, aquellos que no cumplen con los requisitos de las aguas salmonícolas y ciprinícolas.

Agua para riego

El criterio utilizado para clasificar las aguas para el riego de los cultivos es la conductividad eléctrica y la razón de sodio adsorbido (RAS), así se conoce el riesgo de salinidad y de sodicidad que supondría el utilizar una muestra de agua en el riego de cultivos (Tabla 13).

Tipo	Riesgo de salinidad	Conductividad	Tipo	Riesgo de sodicidad	RAS
C1	Baja	100-250 µS/cm	S1	Bajo	0-10
C2	Media	250-750 µS/cm	S2	Medio	10-18
C3	Alta	750-2250 µS/cm	S3	Alto	18-26
C4	Muy alta	>2250 µS/cm	S4	Muy Alto	26-100

Tabla 13 Clasificación de las aguas de riego en función de la CE. Fuente: Normas Riverside

De esta forma, todas las muestras tomadas quedan clasificadas como C3-S1: el riesgo de salinidad es alto y el de sodicidad bajo. Esto supone que la permeabilidad del suelo es buena ya que el ión sodio no predomina. En cuanto a las sales, pueden causar problemas sobre los cultivos ya que los valores de conductividad eléctrica son especialmente altos (Tabla 14).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1044	1032	1106	1120	1180	1290	1306	1312	1311	1407	1393
RAS	0,624	0,656	0,745	0,705	0,941	1,225	1,219	1,206	1,204	1,255	1,177

Tabla 14 Comparación de los parámetros analizados en este estudio con los requisitos de las aguas para riego.

Aguas para ganado

Para clasificar las aguas para ganado se utiliza la salinidad en dS/m (Tabla 15):

Conductividad del agua (dS/m)	Clase
<1,5	Excelente.
1,5 – 5	Muy satisfactoria.
5 – 8	Satisfactoria para el ganado. No apta para aves.
8 – 11	De uso limitado para el ganado. No apta para aves.
11 – 16	De uso muy limitado.
>16	No recomendable.

Tabla 15 Requisitos de las aguas para ser utilizadas para ganado. Fuente: Lloyd y Heathcote, 1985.

Según esta clasificación todas las muestras realizadas en el estudio tienen un rango de salinidad excelente para el ganado. Se trata de un agua apta para todas las clases de ganado y aves de corral (Tabla 16).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
CE ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1044	1032	1106	1120	1180	1290	1306	1312	1311	1407	1393

Tabla 16 Comparación de los parámetros analizados en este estudio con los requisitos de las aguas para ganado.

Aguas para industria

La calidad requerida para este tipo de aguas es muy variable, dependiendo en todo caso de la industria en que vayan a ser utilizadas. Custodio y Llamas (1983) utilizan criterios de turbidez, dureza, sulfatos y cloruros para clasificar las aguas (Tabla 17).

Características	Límites de tolerancia
Turbidez y/o materia en suspensión	<5 ppm para usos generales. <1ppm para productos finos.
Dureza (CaCO_3)	0 a 2 ppm para calderas de alta presión, lavanderías y usos textiles. <17 ppm a 25 para calderas de baja presión si hay suficiente alcalinidad sódica. <68 a 85 ppm para abastecimientos, aunque difícilmente se cumple en la realidad De 0 a 10 ppm en usos domésticos sería deseable.
Sulfatos (SO_4^{2-})	100 a 300 ppm para usos generales. 2 a 3 ppm para productos farmacéuticos o similares.
Cloruros (Cl^-)	60 a 180 ppm para usos generales.

	1,5 a 2 ppm para productos farmacéuticos o similares.
--	---

Tabla 17 Requisitos de las aguas para ser utilizadas en la industria. Fuente: Custodio y Llamas, 1983.

Las muestras de las aguas analizadas no cuentan con las características necesarias para poder ser utilizadas en procesos productivos industriales (Tabla 18). La razón principal es que se trata de aguas especialmente duras ya que se encuentran sobre materiales carbonatados y sulfatados, lo que impide que sean aptas para este uso. Además, los sulfatos son también muy altos por lo que no podrían ser utilizados en ningún tipo de industria, según esta clasificación. En cuanto a los cloruros son especialmente altos, pero se encuentran dentro de los límites de usos generales industriales.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Turbidez (FAU)	17	22	24	12	0	19	9	7	11	5	6
Dureza (mg/l)	580,0	592,0	588,0	600,0	616,0	660,0	676,0	700,0	700,0	740,0	736,0
Sulfatos (mg/l)	500	325	550	350	425	550	575	650	550	675	650
Cloruros (mg/l)	22,7	22,7	25,6	39,8	28,4	34,1	28,4	34,1	36,9	42,6	42,6

Tabla 18 Comparación de los parámetros analizados en este estudio con los requisitos de las aguas para industria. Nota: se encuentran marcados en rojo aquellos valores que superan incluso los usos generales industriales.

Conclusiones

En lo que se refiere a las condiciones de este tramo del río Tajuña a lo largo de los últimos diez años, la calidad se ha mantenido estable, incluso tras la construcción de las depuradoras. En algunos parámetros, tales como la demanda química de oxígeno, los valores se han visto ligeramente disminuidos a lo largo del tiempo.

La concentración de nitratos es especialmente alta a lo largo de todo el río. Esto puede ser debido a vertidos ilegales o vertidos que no cumplen con la Autorización de Vertido. En este caso se deberían aumentar las restricciones a los vertidos y controlar más estrictamente su cumplimiento, así como detectar los vertidos irregulares al cauce, por parte de la Confederación Hidrográfica del Tajo, órgano encargado de velar por la calidad de la cuenca. Por otra parte, las elevadas cantidades de nitratos en el agua pueden ser debidas al uso excesivo de abonos nitrogenados, de forma que la vegetación no puede asimilar más compuestos de este tipo y quedan en el suelo, por procesos de lixiviación pueden contaminar las aguas subterráneas y llegar a cauce, contaminando los recursos hídricos. Por ello, se debería tener un control más exhaustivo del uso de fertilizantes y evitar su aplicación en exceso. La afección del agua por contaminación difusa en estos casos no puede ser resuelta de manera sencilla mediante actividades de remediación, la concienciación e implicación de los gestores de las explotaciones agrícolas es imperativa para que las prácticas empleadas sean las correctas.

En cuanto a los límites de vertido a cauce, regulados por el Real Decreto 509/96, se observa que en algunos puntos la demanda química y biológica de oxígeno, así como, la concentración en nitratos es especialmente alta, superando los límites establecidos por la normativa. Si estos niveles son debidos a un rendimiento deficiente de los procesos de las Estaciones Depuradoras de los municipios, es necesario tener un control mayor sobre éstas para evitar la contaminación del recurso.

No se puede considerar que el río cuente con un buen estado ecológico ya que en algunos puntos la concentración en nitratos y los valores de demanda biológica de oxígeno superan lo establecido en la normativa. Es de especial interés que se realicen esfuerzos para alcanzar el buen estado de las aguas, sobre todo en las zonas en que el río atraviesa zonas de especial interés ambiental, como LIC's y ZEPA's, puesto que los ecosistemas deben ser protegidos de manera adecuada evitando al máximo su contaminación.

En cuanto a los posibles usos de las aguas de este río, decir que debido a la alta concentración en nitratos, la dureza y la microbiología, hacen muy difícil el uso de estas aguas para la mayoría de los usos: abastecimiento y producción de agua potable, industria, vida piscícola o riego. Sin embargo, podría ser utilizada como agua para el ganado, teniendo en cuenta la importancia del sector primario en los municipios de la zona este sería un uso valioso.

Las estaciones depuradoras encargadas de procesar las aguas de los municipios mencionados disponen de instalaciones para tratamientos convencionales a pesar de dar servicio a poblaciones pequeñas. Habría sido más adecuado implantar sistemas de depuración blandos, ya que éstos conllevan menores costes, tanto de implantación como de mantenimiento, son más respetuosos con el medio ambiente, evitan impactos visuales y, sobretodo, suelen ser más eficientes en el tratamiento de volúmenes pequeños de efluente o con poca carga contaminante.

Bibliografía

Bibliografía

ARAUZO, M; MARTÍNEZ-BASTIDA, J.J; y, VALLADOLID, M. “Contaminación por nitrógeno en el sistema ‘río-acuífero aluvial’ de la cuenca del Jarama (Comunidad de Madrid, España): ¿origen agrícola o urbano?” *Limnetica*, 27: 195-210. 2008.

CUSTODIO Y LLAMAS. “Hidrología subterránea”. Editorial Omega. 1983.

KABER, Y. “Hidrogeología Regional de la cuenca del río Tajuña (provincias de Madrid y Guadalajara)”. Facultad de Ciencias Geológicas. Colección Tesis Doctoral número 219/84. Universidad Complutense de Madrid. 1984.

LLOYD, J. Y HEATHCOTE, J. A. “Natural inorganic hydrochemistry in relation to groundwater: an introduction”. Oxford Science Pub. Universidad de Oxford, Nueva York. 1985.

MARTÍNEZ BASTIDA, J.J. “El nitrógeno en las aguas subterráneas de la Comunidad de Madrid: descripción de los procesos de contaminación y desarrollo de herramientas para la designación de zonas vulnerables”. Universidad Alcalá de Henares y Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Tesis Doctoral. 2009.

Webgrafía

ABASTECIMIENTO Y SANEAMIENTO EN LA COMUNIDAD DE MADRID. Disponible en: <http://madrid112.org>

ACCIONA. Disponible en: <http://www.acciona-agua.es/actividades/aguaresidual>

DAM AGUAS. Disponible en: <http://www.dam-aguas.es>

DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO. Disponible en: <http://www.chtajo.es>

EMBALSE DE LA TAJERA. Disponible en: <http://www.embalses.net/pantano-1186-la-tajera.html>

GOOGLE MAPS: Disponible en <http://www.google.es/maps>

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL. VISOR IBERPIX. Disponible en: <http://www2.ign.es/iberpix/visorign.html>

INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA. Disponible en: <http://www.igme.es/>

INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA. Disponible en: <http://www.ine.es/>

MAPAS OWJE: Disponible en: http://mapas.owje.com/11591_comunidad-de-madrid-por-municipios.html

NOMECALLES: Disponible en: <http://www.madrid.org/ICMdownload/>

PLAN DE SANEAMIENTO Y DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN LA COMUNIDAD DE MADRID. Disponible en: <http://www.madrid.org>

RED NATURA 2000. Disponible en: <http://www.marm.es/es/biodiversidad/temas/red-natura-2000/default.aspx>

SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICO DEL BANCO DE DATOS DE LA BIODIVERSIDAD. Disponible en: <http://sig.marm.es/geoportal/>

Legislación

DECRETO 170/1998, de 1 de octubre, sobre gestión de las infraestructuras de saneamiento de aguas residuales de la Comunidad de Madrid. BOCM número 252 de 23/10/88.

DIRECTIVA 91/271/CEE, de 21 de mayo de 1991 sobre el tratamiento de aguas residuales urbanas. DOUE número 135 de 30/5/1991, páginas 40 a 52.

DIRECTIVA 98/83/CE, de 3 de noviembre de 1998, relativa a la calidad de las aguas destinadas a consumo humano. DOUE número 330 de 5/12/1998, páginas 32 a 54.

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. DOUE número 327 de 22/12/2000, páginas 1 a 73.

DIRECTIVA 2006/44/CE, relativa a la calidad de las aguas continentales que requieren protección o mejora para ser aptas para la vida de los peces. DOUE número 264 de 25/9/2006, páginas 20 a 31.

LEY 10/1993, de 26 de octubre, sobre vertidos líquidos industriales al sistema integral de saneamiento. BOCM de 12 de noviembre de 1993.

ORDEN MAM/3207/2006, de 25 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción técnica complementaria MMA-EECC-1/06, determinaciones químicas y microbiológicas para el análisis de las aguas. BOE número 250 de 19/10/2006, páginas 36326 a 36440.

ORDEN ARM/2656/2008, de 10 de septiembre, por la que se aprueba la instrucción de planificación hidrológica. BOE número 229 de 22/09/2008, páginas 38.472 a 38.582.

REAL DECRETO 927/1988, de 29 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Administración Pública del Agua y de la Planificación Hidrológica, en desarrollo de los Títulos II y III de la Ley de Aguas. BOE número 209 de 31/8/1988, páginas 26412 a 26425.

REAL DECRETO 509/1996, de 15 de marzo, de desarrollo del Real Decreto-ley 11/1995, de 28 de diciembre, por el que se establecen las normas aplicables al tratamiento de las aguas residuales urbanas. BOE 77 de 29/3/1996, páginas 12038 a 12041.

REAL DECRETO 140/2003, de 7 de febrero, por el que se establecen los criterios sanitarios de la calidad del agua de consumo humano. BOE número 45 de 21/02/2003, páginas 7228 a 7245.

RESOLUCIÓN de 28 de Abril de 1995, de la Secretaría de Estado de Medio Ambiente y Vivienda, por la que se dispone la publicación del Acuerdo del Consejo de Ministros de 17 de febrero de 1995, por el que se aprueba el Plan Nacional de Saneamiento y Depuración de Aguas Residuales. BOE 113 de 12/5/1995, páginas 13808 a 1382.