

APÉNDICE 4. MÓDULO GESCAL Y FICHAS DE SUS RESULTADOS

1. INTRODUCCIÓN

El programa GESCAL es una herramienta para la modelación de la calidad del agua a escala de cuenca. Se ha implementado sobre el Sistema Soporte Decisión (SSD) AQUATOOL (Andreu et al. 1996) y en su nueva versión AquaToolDMA (Solera *et al.* 2007) para la planificación y gestión de recursos hídricos. De este modo la aplicación conjunta permite, con una sola herramienta modelar la gestión y la calidad del agua en sistemas de recursos hídricos.

Este módulo no intenta representar la evolución de la calidad del agua frente a eventos puntuales, sino por el contrario, reflejar la evolución espacio temporal de la calidad del agua en los sistemas modelados, fruto de las diferentes alternativas de gestión, depuración, contaminación y uso del recurso.

El programa permite la modelación de los constituyentes convencionales con un doble objetivo: por un lado se busca sencillez a la hora de modelar de una manera coherente con la escala de trabajo y por otro se intenta no perder representatividad ni capacidad de modelación.

Aunque el programa permite, la modelación de la calidad del agua, en sistemas de recursos completos no deja de ser muy interesante su aplicación a pequeña escala como pueden ser tramos de río específicos o el análisis de un sólo embalse. Esto se debe a la completa consideración de procesos que se realiza en su formulación.

2. FORMULACIÓN DEL MODELO

La herramienta GESCAL permite el desarrollo de modelos de calidad del agua sobre modelos de simulación de sistemas de recursos hídricos previamente desarrollados con el módulo SIMGES, módulo también perteneciente a AQUATOOL que permite la modelación de sistemas de recursos hidráulicos complejos, en los que se dispone de elementos de regulación o almacenamiento tanto superficiales como subterráneos, de captación, de transporte, de utilización y/o consumo, y de dispositivos de recarga artificial.

Aunque la calidad de agua se ha considerado en todos los posibles elementos de la modelación de la simulación, la modelación de los procesos físico – químicos y biológicos que afectan a la calidad se considera exclusivamente en los elementos de tramos de río (o canales) y embalses (o lagos). La característica fundamental, de esta herramienta, es la posibilidad de modelar tanto embalses como tramos de río en una misma aplicación y de una forma integrada con el resto de elementos del sistema. Así, de esta forma, la calidad en un tramo de río o en un embalse no sólo depende de los procesos que se producen sino también de la gestión del sistema y de la calidad de los diferentes elementos que tengan relación con el elemento en cuestión. Los constituyentes que se pueden modelar son los siguientes:

- Temperatura.
- Contaminantes arbitrarios.
- Oxígeno disuelto y Materia Orgánica Carbonosa (MOC).
- Ciclo del nitrógeno (nitrógeno orgánico, amonio y nitratos) y su afección sobre el oxígeno disuelto.
- Eutrofización: ciclo del nitrógeno, fitoplancton (como clorofila-a, fósforo orgánico e inorgánico; y su afección sobre el oxígeno disuelto.

A continuación se adjunta un cuadro resumen con los procesos que se consideran en función de los diferentes elementos:

Elemento	Procesos
Tramos de río	Físicos: Advección y dispersión longitudinal Químicos y biológicos: En función del constituyente modelado
Embalses	Físicos: Mezcla completa o estratificación en dos capas. Químicos y biológicos: En función del constituyente modelado

Elemento	Procesos
Aportaciones	Se introduce como dato las series temporales de concentración de entrada de cada uno de los constituyentes que se modelan.
Nudos	Se asume una mezcla completa en el nudo. Se estima la concentración de salida del nudo mediante un balance de masas.
Demandas	Se asume que la calidad del agua que llega a una demanda es producto de la mezcla de la calidad del agua de salida de cada una de sus tomas.
Tomas	Las concentraciones de salida de una toma son iguales a las del nudo de origen de la toma o introducidas como dato.
Retornos	Las concentraciones de salida de un retorno se obtienen por balance entre las diferentes tomas relacionadas con ese retorno o son introducidas como dato.
Centrales hidroeléctricas	Las concentraciones de salida son iguales a las del punto de entrada
Acuíferos	Concentraciones constantes proporcionadas como dato

2.1. Uso de criterios de planificación hidrológica

Debido a la falta de criterios de cumplimiento de la calidad a nivel de planificación hidrológica se ha desarrollado un criterio de cumplimiento basado en el concepto de la necesidad de períodos de recuperación de los ecosistemas después de situaciones de estrés. El criterio se puede resumir de la siguiente forma: Se considera que un objetivo medioambiental se ha cumplido o que una masa de agua se mantiene dentro de un estado ecológico y físico químico siempre y cuando las concentraciones se mantengan dentro de los umbrales definidos para objetivo y estado excepto: - Se admite un mes de incumplimiento, en donde se den unas concentraciones superiores (o inferiores) a las definidas como umbral de este estado (u objetivo medioambiental,) si los siguientes 35 meses deben ser de cumplimiento. - En períodos de severa sequía se admiten hasta 5 meses de incumplimiento si los siguientes 120 - 180 meses posteriores son de cumplimiento. Se definirán previamente los períodos de sequía en función de las aportaciones naturales y los suministros a las demandas.

3. RESULTADOS

Los resultados de varios tramos ríos obtenidos para la Demarcación del Duero se presentan en varias fichas al final de este apéndice.

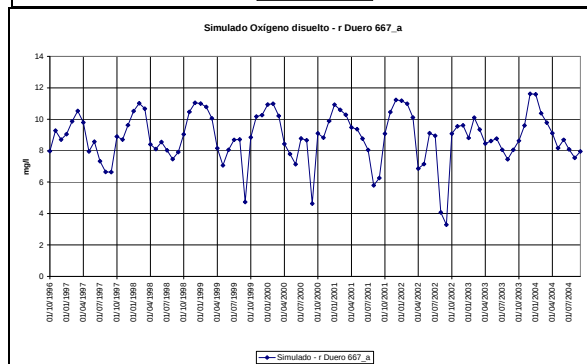
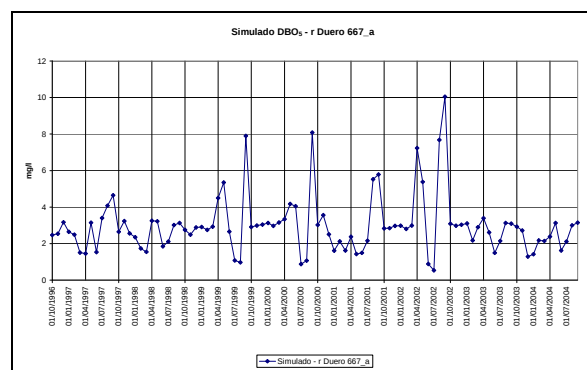
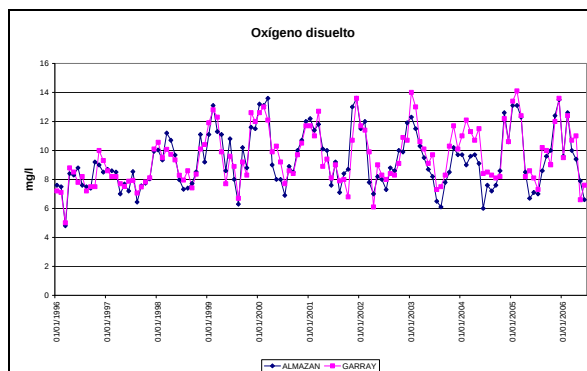
4. BIBLIOGRAFÍA

J. Paredes Arquiola; A. Solera Solera; J. Andreu Álvarez. “Modelo Gescal para la Simulación de la Calidad del Agua en Sistemas de Recursos Hídricos. Manual de usuario” (versión 1.1 del 7 de enero de 2009). Instituto de Ingeniería del Agua y Medio Ambiente Universidad Politécnica de Valencia.

Caracterización y localización del problema

Los parámetros de la calidad del río Duero a su paso por la ciudad de Soria son similares a los observados en condiciones naturales. La principal dificultad para evaluar la calidad de las aguas del río aguas abajo de Soria está en el desconocimiento del grado de contaminación del río entre el vertido de Soria y la estación ICA de Almazán.

El uso de los modelos de simulación permite observar el efecto de dicho vertido sobre el río.



Descripción de los elementos significativos

El principal vertido que produce esta situación es el vertido del Ayuntamiento de Soria. El tratamiento actual de su estación depuradora está basado en un tratamiento de fangos activados. Este tramo de río cuenta con la regulación aguas arriba del embalse de La Cuerda del Pozo.

Evolución y tendencias observadas

Entre las actuaciones previstas destaca:

- Estaciones depuradoras de aguas residuales y emisarios de las poblaciones del Alto Duero, aguas arriba del embalse de La Cuerda del Pozo (Soria).

Objetivos

Se pretende alcanzar el límite para el buen estado de los indicadores fisicoquímicos establecidos en la IPH 2008.

Límite para el buen estado
Oxígeno disuelto ≥ 5 mg/l
$6 \leq \text{pH} \leq 9$
$\text{DBO5} \leq 6$ mg/l
Nitratos ≤ 25 mg/l
Amonio ≤ 1 mg/l
Fósforo total ≤ 0.4 mg/l

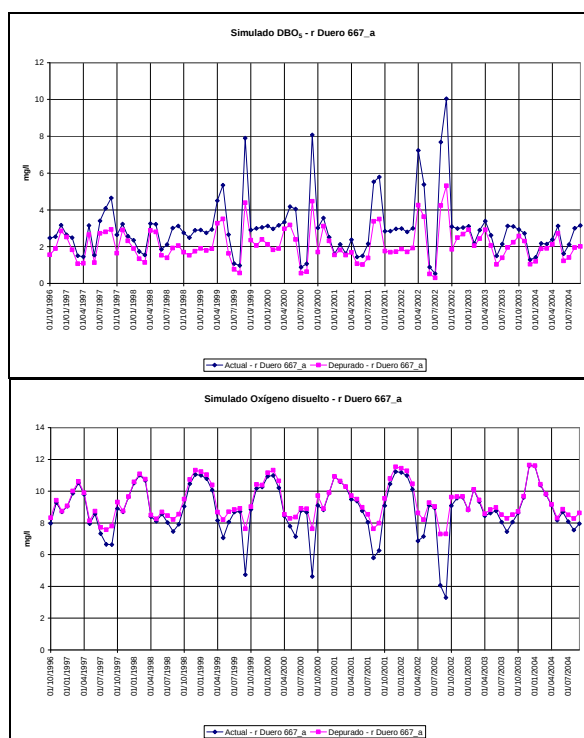
Posibles medidas para solucionar el problema

- Alternativa de depuración

Se trataría de mejorar el tratamiento actual para reducir las concentraciones de materia orgánica del efluente, y se le añade un tratamiento terciario para la eliminación de nutrientes mediante un proceso de nitrificación-desnitrificación biológica.

Contaminantes	Situación actual	Propuesta de depuración
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	794.64	794.64
Sólidos (mg/l)	43.37	35
Fósforo (mgP/l)	1.06	1.06
DBO_5 (mg/l)	40.14	20
Oxígeno disuelto (mg/l)	5.29	4
Nitrógeno orgánico (mgN/l)	5	5
Amonio (mgNH_4/l)	34.26	1.5
Nitratos (mgNO_3/l)	5.11	6

Los resultados obtenidos de la simulación son:



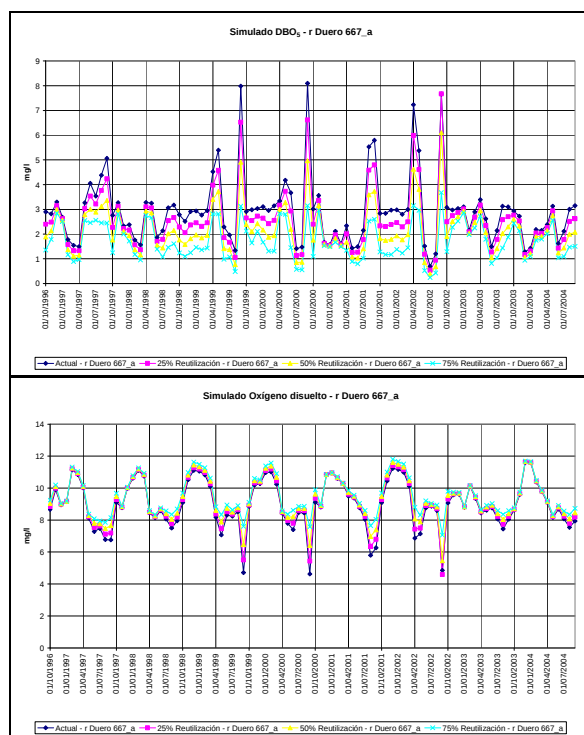
Se aprecia que esta medida permitiría mantener las concentraciones de oxígeno disuelto y DBO_5 dentro de los límites establecidos.

- Alternativa de reutilización

Se consideran varios porcentajes de reutilización del vertido de Soria sin modificar el actual

tratamiento de las aguas residuales. Se ensaya volúmenes de reutilización del 25, 50 y 75% del vertido. (Se supone que sería posible hacer reutilización de aguas residuales para el riego de jardines y otros usos en la ciudad).

Los resultados obtenidos de la simulación son:



Se calcula que con un volumen de reutilización del 50% sería suficiente para alcanzar los objetivos de calidad. También se comprueba que la reducción del vertido al río no afecta a las garantías a los regadíos situados abajo.

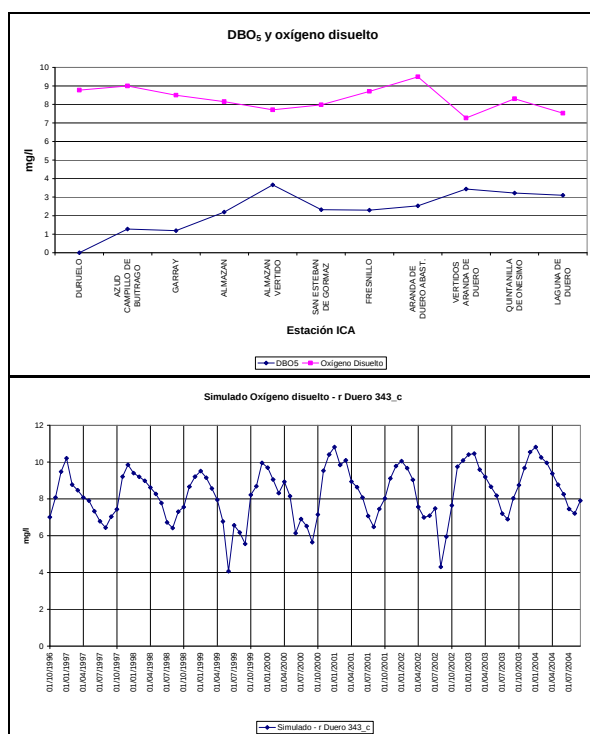
Conclusiones

Se han obtenido buenos resultados tanto con la depuración como con una reutilización del vertido del 50%.

ARANDA DE DUERO

Caracterización y localización del problema

Los parámetros de la calidad del río Duero a su paso por la ciudad de Aranda de Duero son similares a los observados en Soria. Se trata de una zona donde se combina una importante industria y donde además existen diversas demandas agrarias. Como consecuencia en este tramo de río se produce un descenso en las concentraciones de oxígeno disuelto durante los meses de verano, coincidentes con esta época de riego.



Descripción de los elementos significativos

Los principales vertidos que producen esta situación son el vertido del Ayuntamiento de Aranda de Duero y de la empresa Leche Pascual SA. El actual sistema de funcionamiento de la estación depuradora del Ayuntamiento está basado en un tratamiento de fangos activados, en el caso de la estación depuradora de la empresa láctea se trata de un tratamiento físico-químico y biológico. Aguas arriba de esta zona se localizan las tomas para la ZR de Aranda y la ZR de Guma a través del

Canal de Guma.

Evolución y tendencias observadas

- Canal de Guma. Sectores A, B, C y D. ZR Guma

Objetivos

Se pretende alcanzar el límite para el buen estado de los indicadores fisicoquímicos establecidos en la IPH 2008.

Límite para el buen estado
Oxígeno disuelto ≥ 5 mg/l
$6 \leq \text{pH} \leq 9$
$\text{DBO}_5 \leq 6$ mg/l
Nitratos ≤ 25 mg/l
Amonio ≤ 1 mg/l
Fósforo total ≤ 0.4 mg/l

Medidas para solucionar el problema

- Alternativa de depuración

Se pretende mejorar los tratamientos actuales de ambas estaciones depuradoras.

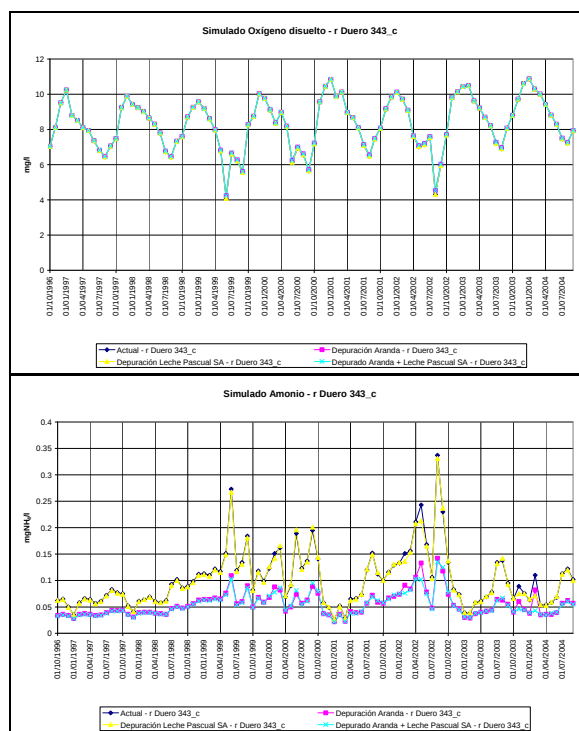
Vertido urbano. El actual sistema de funcionamiento de la EDAR consiste en un tratamiento secundario basado en fangos activados, se propone añadir un tratamiento terciario para la eliminación de nutrientes.

Contaminantes	Situación actual	Propuesta de depuración
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	922	922
Sólidos (mg/l)	10.15	10.15
Fósforo (mgP/l)	1.74	1.74
DBO_5 (mg/l)	17.2	17.2
Oxígeno disuelto (mg/l)	4.95	4.95

Nitrógeno orgánico (mgN/l)	5	5
Amonio (mgNH ₄ /l)	4.89	1.5
Nitratos (mgNO ₃ /l)	35.94	6

Vertido industrial Leche Pascual. El sistema actual de depuración está basado en un tratamiento físicoquímico y biológico, con la propuesta de depuración se pretende mejorar el actual sistema para reducir las concentraciones de materia orgánica.

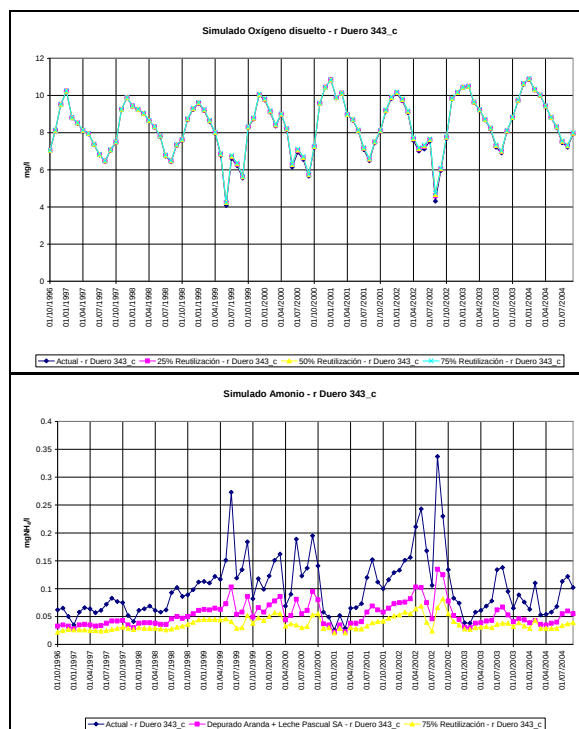
Contaminantes	Situación actual	Propuesta de depuración
Conductividad (µS/cm)	3363.9	3363.9
Sólidos (mg/l)	51.11	35
Fósforo (mgP/l)	0.69	0.69
DBO ₅ (mg/l)	67.99	25
Oxígeno disuelto (mg/l)	6.4	6.4
Nitrógeno orgánico (mgN/l)	9	5
Amonio (mgNH ₄ /l)	3.06	2
Nitratos (mgNO ₃ /l)	8.43	6



Con esta opción no se alcanza el límite para el buen estado del oxígeno disuelto.

- Alternativa de reutilización

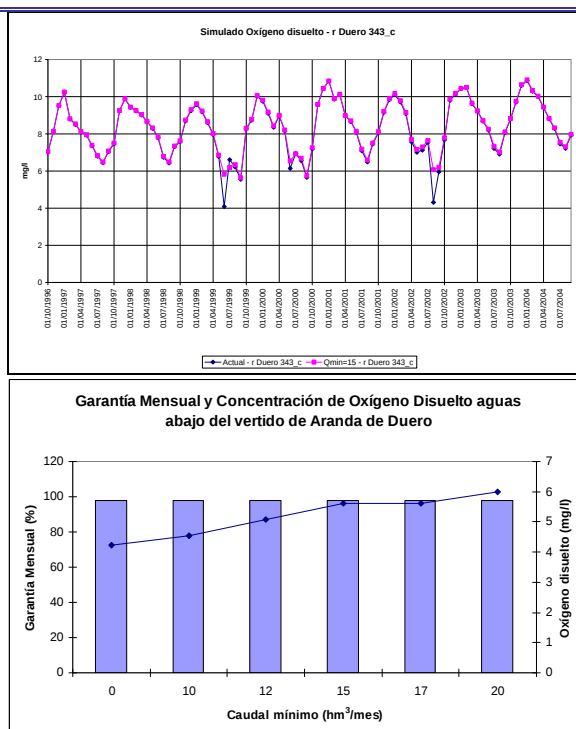
La siguiente opción planteada comprende la reutilización de ambos vertidos, con porcentajes de reutilización del 25, 50 y 75 %.



Se ha comprobado que con esta alternativa las bajas concentraciones de oxígeno disuelto registradas de forma puntual a la altura de Aranda de Duero no han quedado resueltas.

- Planteamiento de un incremento de caudales

Esta opción consiste en imponer un caudal mínimo en el río durante los meses de verano que permita la dilución de los contaminantes. Se propone mantener un caudal de 6m³/s durante los meses de junio a septiembre.



Esta alternativa sí permite obtener concentraciones de oxígeno disuelto próximas a los 6 mg/l que era el objetivo perseguido. Se ha comprobado que esta medida no implica un descenso en la garantía de suministro de la demanda de los RP de la margen derecha del Duero en la confluencia con el Rianza. Se comprueba como la concentración de oxígeno disuelto mejora a medida que se consideran valores de caudales ecológicos más altos.

Conclusiones

Se recomienda la inclusión de un caudal de dilución durante los meses de verano de 6 m³/s (15 hm³/mes).

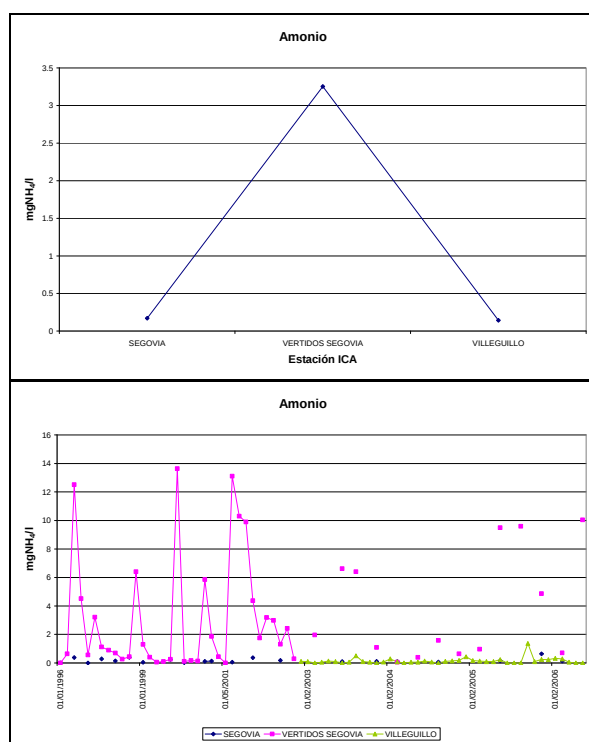
Se ha comprobado que posibles mejoras en el tratamiento de los vertidos o la reutilización de los mismos no son soluciones válidas.

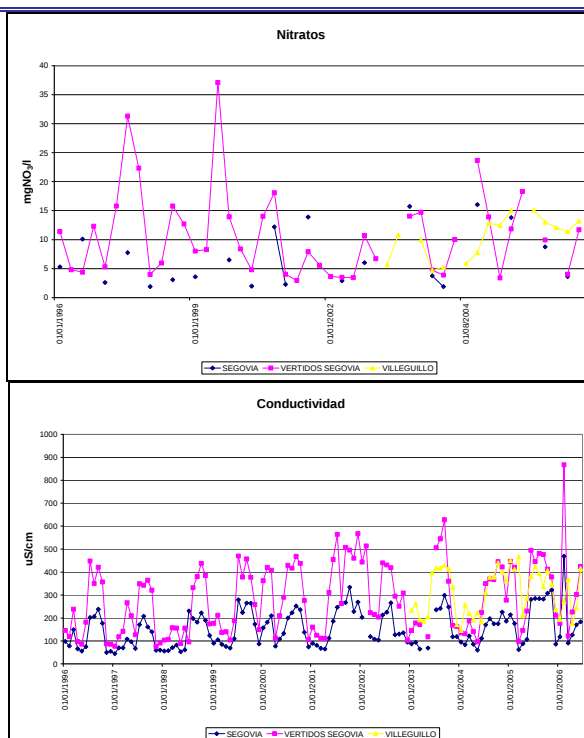
SEGOVIA

Caracterización y localización del problema

Se detecta una gran escasez de recursos durante los meses de verano en el río Eresma. Este hecho junto con una importante influencia antrópica que se localiza ya en la cabecera del mismo donde se encuentra la ciudad de Segovia tiene como consecuencia un importante descenso en la calidad de las aguas del río.

Como consecuencia de los vertidos de Segovia se observan concentraciones de oxígeno disuelto significativamente bajas, así como elevadas concentraciones de amonio, nitratos y conductividad.





Descripción de los elementos significativos

Los principales vertidos que producen esta situación son el vertido del Ayuntamiento de Segovia, San Cristóbal, San Ildefonso y de la empresa Beam Global España. Las estaciones depuradoras de Segovia y de San Ildefonso funcionan con un tratamiento de fangos activados. El vertido del Ayuntamiento de San Cristóbal vierte al efluente sin haber sido sometido a ningún proceso de depuración. La EDAR de la empresa Beam Global España utiliza un tratamiento de doble etapa biológica. Esta zona se encuentra regulada por el embalse de Pontón Alto.

Evolución y tendencias observadas

- Regulación del río Eresma. Azud de Carboneros

Objetivos

Se pretende alcanzar el límite para el buen estado de los indicadores fisicoquímicos establecidos en la IPH 2008.

Límite para el buen estado

Oxígeno disuelto ≥ 5 mg/l

$6 \leq \text{pH} \leq 9$

$\text{DBO}_5 \leq 6$ mg/l

Nitratos ≤ 25 mg/l

Amonio ≤ 1 mg/l

Fósforo total ≤ 0.4 mg/l

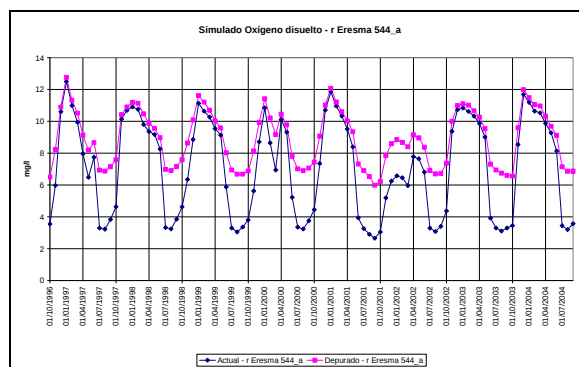
Medidas para solucionar el problema

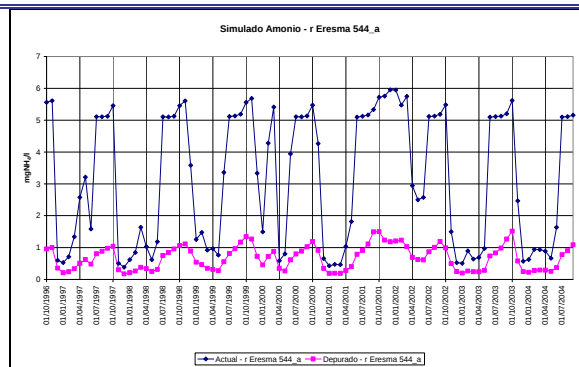
- Alternativa de depuración

Se pretende mejorar los tratamientos actuales de las estaciones depuradoras.

Vertido de Segovia. Actualmente utiliza un tratamiento de depuración basado en fangos activados, se considera imprescindible reducir las concentraciones de amonio mediante un tratamiento terciario de eliminación de nutrientes.

Contaminantes	Situación actual	Propuesta de depuración
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1300	1300
Sólidos (mg/l)	35	35
Fósforo (mgP/l)	0.01	0.01
DBO_5 (mg/l)	15	15
Oxígeno disuelto (mg/l)	2	4
Nitrógeno orgánico (mgN/l)	9	7.7
Amonio (mgNH_4/l)	22.5	1.3
Nitratos (mgNO_3/l)	0	5





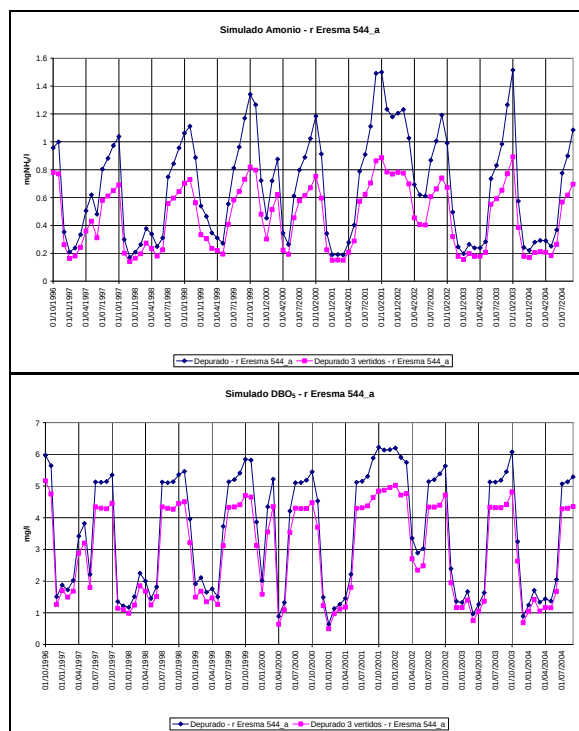
Con esta alternativa en todos los meses se han obtenido concentraciones de oxígeno disuelto superiores a los 6 mg/l. Las diferencias observadas se deben únicamente a la reducción de las concentraciones de amonio del vertido ya que en la situación actual se está eliminando un porcentaje muy importante de materia orgánica.

Se ha producido una notable reducción de las concentraciones de amonio, pasando de unos valores máximos de concentración de 6 mg/l en la situación actual a los 1.5 mg/l con la depuración del vertido de Segovia. Ello implica que aún así será necesario plantear medidas alternativas para reducir las concentraciones de amonio hasta el límite fijado para el buen estado ecológico y que sean compatibles y de aplicación conjunta con la depuración del vertido de Segovia.

Vertidos de San Cristóbal y San Ildefonso. El vertido de San Cristóbal se produce directamente sobre el río sin haber sido sometido a ningún proceso de depuración. Para el vertido de San Ildefonso se propone ampliar el tratamiento actual de fangos activados con un tratamiento terciario para reducir las concentraciones de amonio. La EDAR de la empresa Beam Global España funciona correctamente.

Contaminantes	Ayto San Cristóbal	Beam Global España	Ayto San Ildefonso
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2000	536.27	321.53
Sólidos (mg/l)	220	10.73	55.35
Fósforo (mgP/l)	0.01	0.01	0.01
DBO ₅ (mg/l)	220	14.27	42.28
Oxígeno disuelto (mg/l)	4	7.78	4.06
Nitrógeno orgánico (mgN/l)	9	9	9
Amonio (mgNH ₄ /l)	25	0.7	10.85
Nitratos (mgNO ₃ /l)	0	3.09	0.96

Contaminantes	Propuesta Ayto San Cristóbal	Propuesta Ayto San Ildefonso
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	900	321.53
Sólidos (mg/l)	35	35
Fósforo (mgP/l)	0.01	0.01
DBO_5 (mg/l)	20	20
Oxígeno disuelto (mg/l)	4	4.06
Nitrógeno orgánico (mgN/l)	7.7	7.7
Amonio (mgNH_4/l)	5	5
Nitratos (mgNO_3/l)	0	1



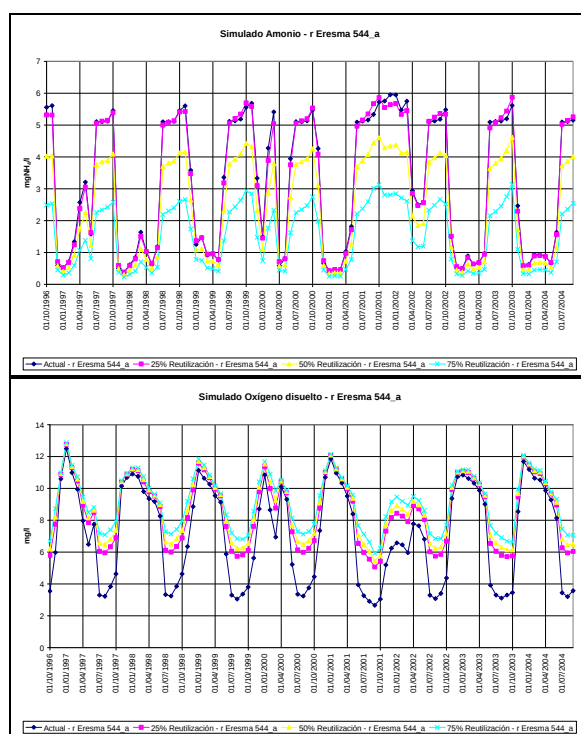
Las concentraciones de amonio obtenidas con esta segunda opción de depuración se encuentran dentro del límite para el buen estado ecológico, siendo los valores máximos de concentración de amonio obtenidos cercanos a los 0.9 mg/l, ligeramente inferiores a los 1.5 mg/l obtenidos considerando únicamente la depuración del vertido de Segovia.

Se producen también cierta mejoría en las concentraciones de oxígeno disuelto y DBO_5 . Con la depuración de los tres vertidos las concentraciones de materia orgánica se reducen en 1 mg/l aproximadamente.

■ Alternativa de reutilización

Implica la reutilización del 25, 50 y 75% del volumen de los vertidos de:

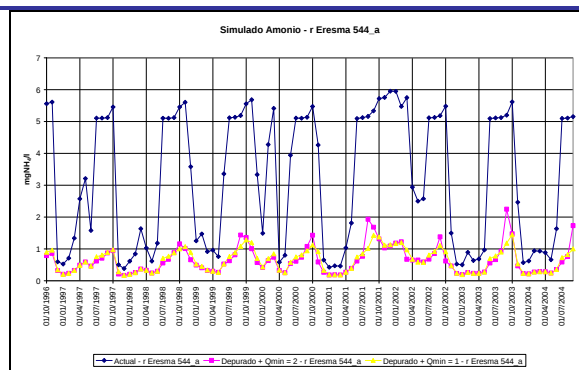
- a. Ayuntamiento de Segovia
- b. Ayuntamiento de San Cristóbal
- c. Beam Global España
- d. Ayuntamiento de San Ildefonso



Se ha comprobado una mejora significativa en la calidad de las aguas del río con la reutilización del 75% de los vertidos, pero aún así se obtienen concentraciones de amonio de hasta 3 mg/l. Las concentraciones de oxígeno disuelto han mejorado de forma importante superando el límite para la consecución del buen estado ecológico fijado en 5 mg/l.

■ Planteamiento de un incremento de caudales

La tercera opción considerada supone un aumento en los caudales circulantes del río Eresma para reducir el efecto de los vertidos unido conjuntamente con la depuración del vertido de Segovia.



Los caudales mínimos propuestos para permitir la dilución de los vertidos son 0.5 y 1 m³/s respectivamente. Se comprueba que esta medida no es suficiente para reducir las concentraciones de amonio en el río, además del efecto negativo que supondría en el suministro de las demandas situadas aguas abajo del tramo de río en cuestión.

Conclusiones

Se recomienda la depuración de los vertidos de los Ayuntamientos de Segovia, San Cristóbal y San Ildefonso.

ÁVILA

Caracterización y localización del problema

Una de las principales preocupaciones acerca de la calidad del río Adaja a su paso por la ciudad de Ávila, se refiere a las altas concentraciones de amonio que se producen en la parte alta del río especialmente en los meses de invierno.

El factor principal de contaminación es el vertido de la ciudad de Ávila, que se realiza en aguas arriba del embalse de las Cogotas.

El principal problema se da en el embalse de Las Cogotas que está en estado de hipereutrofia, razón por la cual hoy día no puede utilizarse para el abastecimiento de la población. La mala calidad de las aguas del embalse limita sus usos, pudiéndose desaconsejar el baño y otros usos recreativos y deteriorando los aspectos estéticos, organolépticos y paisajísticos.

Descripción de los elementos significativos

La EDAR de Ávila fue ampliada en el año 2002, con un tipo de tratamiento primario y secundario, pero actualmente su funcionamiento es todavía inadecuado.

En la siguiente tabla se muestran las concentraciones de diferentes contaminantes registradas en las analíticas realizadas por el propio laboratorio de la EDAR de Ávila:

	Año 2004	Año 2005	Año 2006	Año 2007
Temperatura (°C)	15.5	14.8	16.4	15.7
Conductividad (uS/cm)	788.5	878.1	849.2	924.6
DBO ₅ (mg/l)	37.2	63.3	57.5	49.1
Sólidos (mg/l)	80.8	108.7	79.9	80.4
Fósforo Total (mgP/l)	17.3	12.9	8.5	7.0
Fosfatos (mgPO ₃ /l)	4.8	7.5	5.9	3.8
Nitrógeno Total (mgN/l)	46.1	48.8	45.9	47.1
Amonio (mgNH ₄ /l)	41.6	40.3	38.0	33.9

La situación que se observa en el embalse de Las Cogotas es la siguiente. Cuando llega el mes de mayo la parte superior del embalse ve notablemente incrementada su temperatura, de manera que existe una diferencia de densidades en el agua entre las partes superior e inferior. Comienza así el periodo de estratificación que se mantiene hasta los meses de septiembre-octubre. La formación de esta termoclina tiene los siguientes efectos. En los meses de verano el amonio se acumula en el hipolimnion, y como en el fondo del embalse la concentración de oxígeno disuelto es próxima a cero, el amonio no tiene posibilidad de degradarse, alcanzándose concentraciones del orden de 20 mg/l. Mientras que en el epilimnion los episodios de bloom de algas agotan el nitrógeno disponible. Cuando llega el mes de septiembre el embalse se desestratifica y se produce la mezcla, y como consecuencia, aumenta la concentración de amonio de las sueltas del embalse hasta los 10-11 mg/l.

Evolución y tendencias observadas

Objetivos

Se pretende alcanzar el límite para el buen estado de los indicadores fisicoquímicos establecidos en la IPH 2008.

Límite para el buen estado
Oxígeno disuelto ≥ 5 mg/l
$6 \leq \text{pH} \leq 9$
DBO5 ≤ 6 mg/l
Nitratos ≤ 25 mg/l
Amonio ≤ 1 mg/l
Fósforo total ≤ 0.4 mg/l

Medidas para solucionar el problema

- Alternativa de depuración

Se considera una mejora en la calidad del vertido de Ávila como consecuencia de la instalación de una nueva estación depuradora de las aguas residuales con un tratamiento de eliminación de nutrientes. Las concentraciones consideradas del vertido serán:

Conductividad (uS/cm)	807.51
-----------------------	--------

Sólidos suspendidos (mg/l)	132.47
Fósforo (mgP/l)	0.5
DBO ₅ (mg/l)	20
Oxígeno disuelto (mg/l)	4
Nitrógeno orgánico (mgN/l)	7.70
Amonio (mgNH ₄ /l)	1.5
Nitratos (mgNO ₃ /l)	30

▪ Alternativa de reutilización

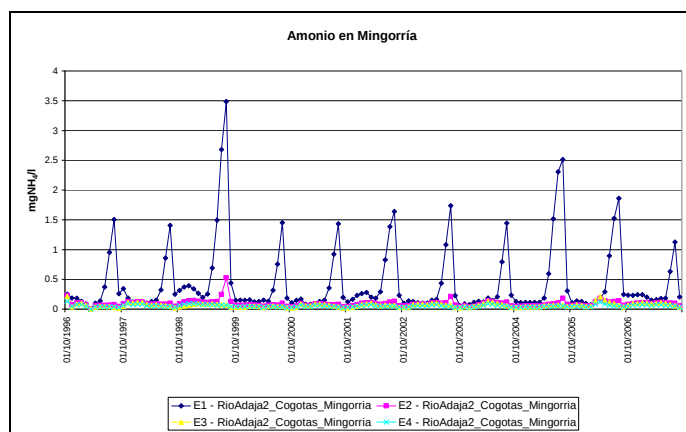
Además de depurar el vertido de Ávila como en la opción anterior, se va a considerar un porcentaje de reutilización del mismo del 70%.

▪ Oxigenación del hipolimnion

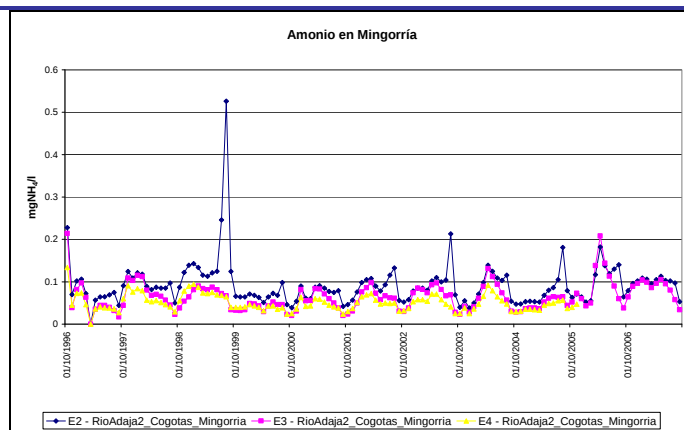
Esta opción supone la utilización de un conjunto de turbinas en el fondo del embalse de Las Cogotas para aumentar la concentración de oxígeno disuelto en el hipolimnion. Esta opción se modela mediante la consideración de un flujo desde el sedimento de 2 gr/m²/d de oxígeno disuelto.

▪ Resultados de la simulación

Se muestra la concentración de amonio que se obtendría en el tramo de aguas abajo del embalse, a la altura de la estación ICA de Mingorría.

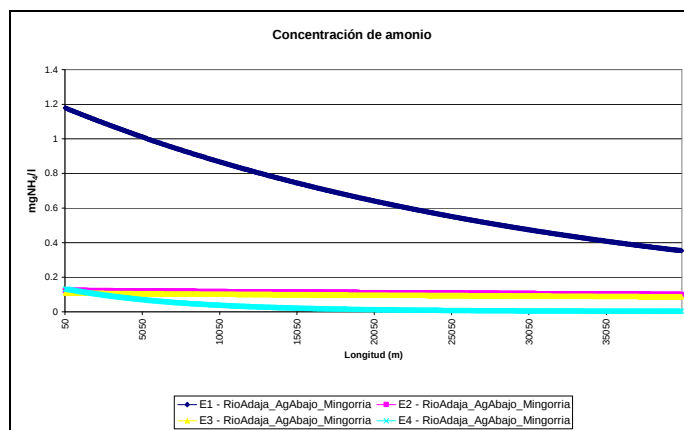


La elevada concentración de amonio simulada en la situación actual no permite seguir la evolución de la concentración en el resto de alternativas. Se muestra a continuación la misma figura omitiendo la situación actual.

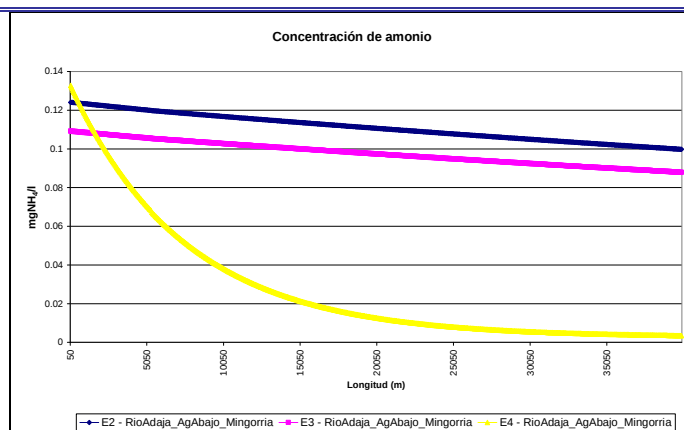


La reducción en la concentración de amonio es muy importante en los tres planteamientos. A priori parece que la oxigenación del hipolimnion ofrece los mejores resultados.

El mes más problemático se corresponde con noviembre de 1997, en el que se alcanzaron concentraciones de 1.2 mgNH₄/l. A continuación se muestran los resultados de los perfiles longitudinales de la concentración de amonio para las cuatro simulaciones entre Mingorria y Arévalo en este mes.



Para una mejor visualización de los resultados en la siguiente figura se prescinde del escenario de calibración.



La alternativa de oxigenar el hipolimnion es la que permite obtener concentraciones de amonio más bajas, pero aun así, las diferencias con las otras alternativas no son significativas.

Conclusiones

En todas las opciones consideradas se consigue el objetivo perseguido y, por tanto, la decisión sobre cuál de ellas puede proponerse para un futuro próximo va a depender de otros criterios que no han sido considerados en este estudio.

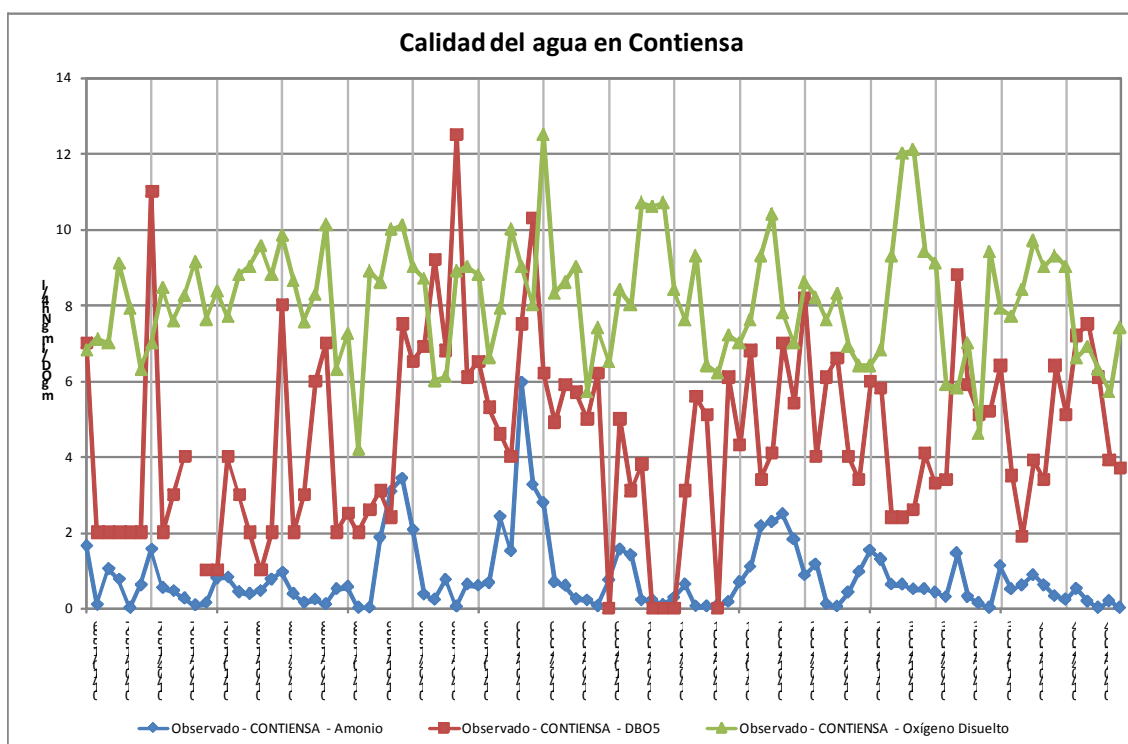
SALAMANCA

Caracterización y localización del problema

El río Tormes aguas abajo de la ciudad de Salamanca recoge el vertido de la misma y de industrias cercanas. Esto hace que los parámetros físico químicos del río pase de agua de buena calidad, aguas arriba de la ciudad, a unas concentraciones de río contaminado.

Como pasa en otros casos la principal dificultad de evaluar el verdadero efecto de estos vertidos reside en la falta de datos cercanos. La siguiente estación de control de calidad es la de Contienza ubicada a una longitud considerable. En esta estación ya se ha producido un proceso de autodepuración del río. Aún así se siguen midiendo altas concentraciones de algunos constituyentes en la estación de Contienza como por ejemplo el amonio o la DBO5.

Situación actual:

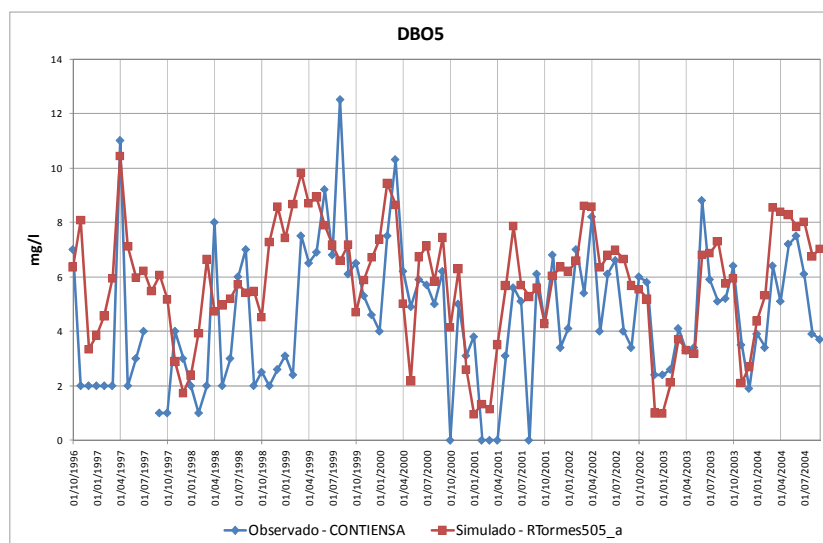
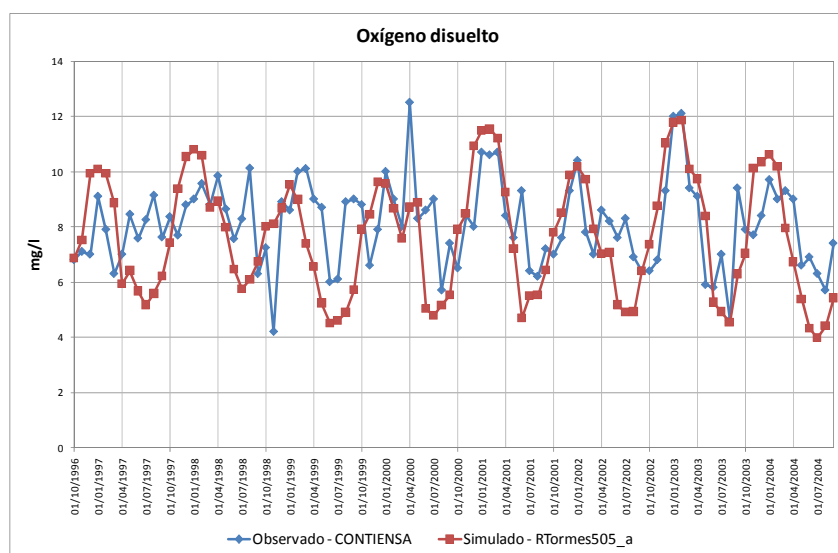


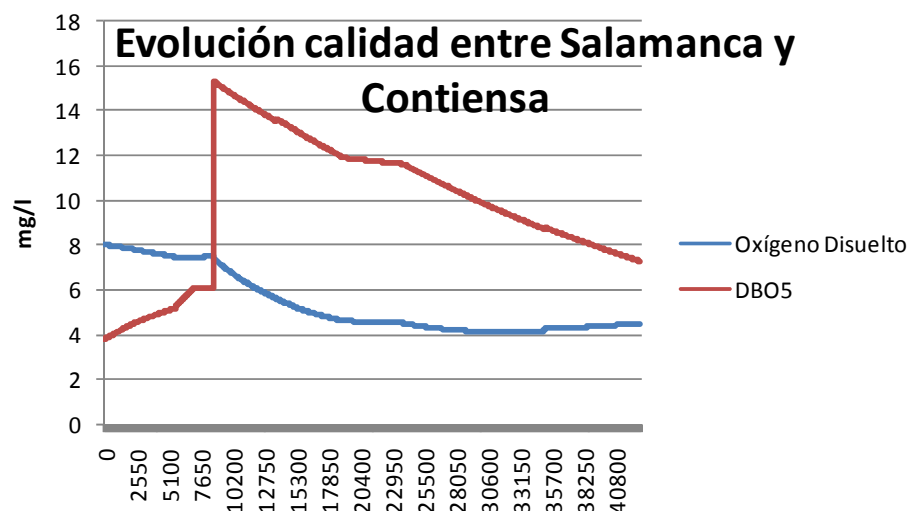
Descripción de los elementos significativos

El principal vertido que produce esta situación es el vertido del Ayuntamiento de Salamanca y cercanos. El tratamiento actual el tratamiento actual es bajo. Aguas arriba de este vertido, por la margen izquierda, llega un afluente que recoge otros vertidos que tienen cierta influencia sobre la calidad del río. Se desconoce la calidad y la aportación del citado afluente.

Modelo

El uso de los modelos de simulación de la calidad del agua permite estimar la calidad del río en la zona intermedia de desconocimiento.





Objetivos Medioambientales

Se pretende alcanzar el límite para el buen estado de los indicadores fisicoquímicos establecidos en la IPH 2008.

Límite para el buen estado
Oxígeno disuelto ≥ 5 mg/l
$6 \leq \text{pH} \leq 9$
$\text{DBO5} \leq 6$ mg/l
Nitratos ≤ 25 mg/l
Amonio ≤ 1 mg/l
Fósforo total ≤ 0.4 mg/l

Posibles medidas para solucionar el problema

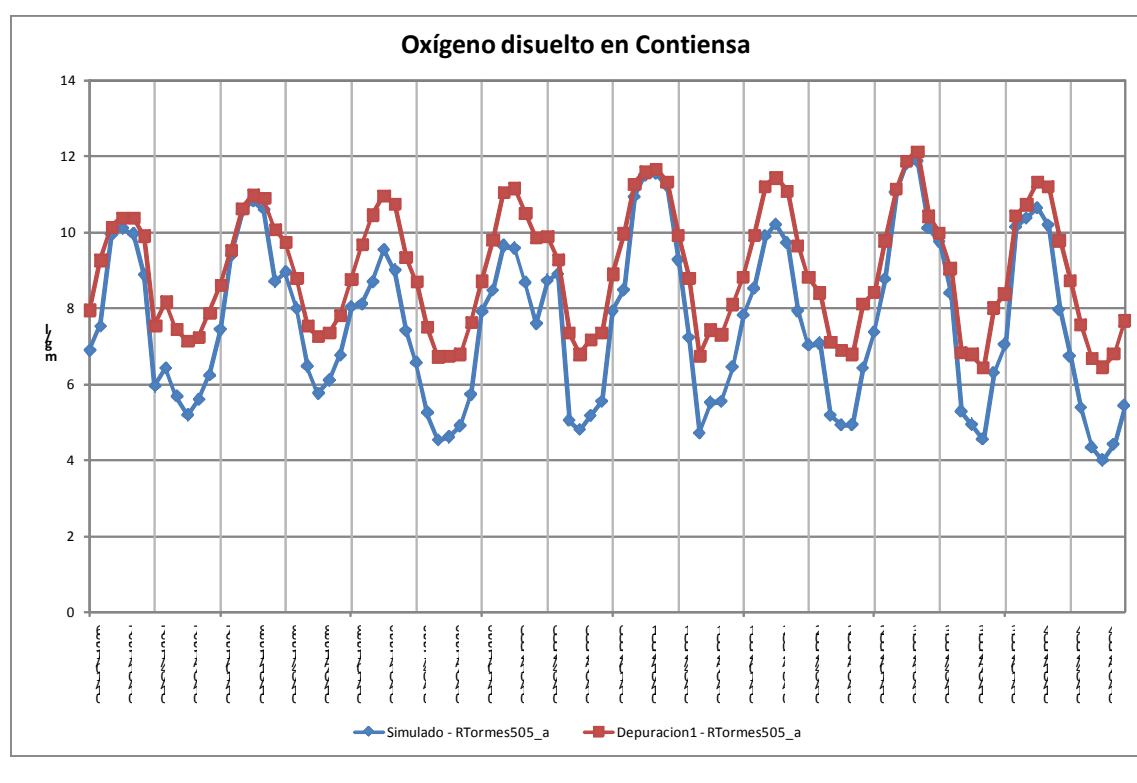
- Alternativa de depuración

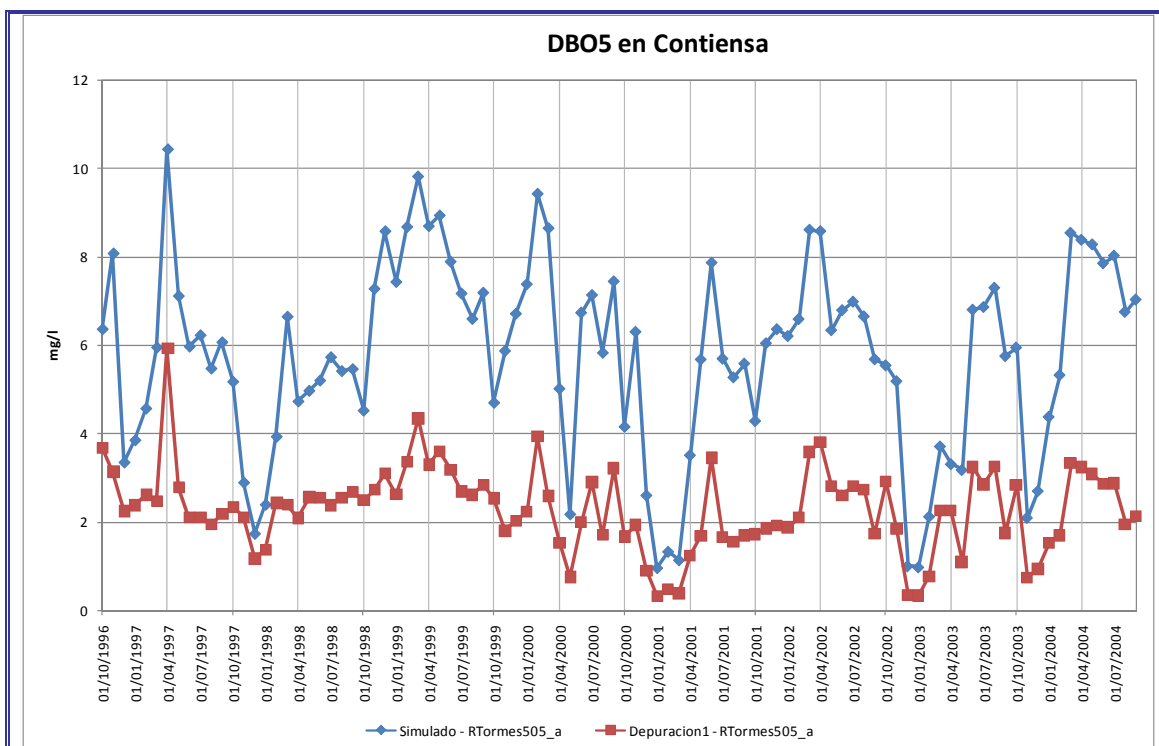
Se trataría de mejorar el tratamiento actual para reducir las concentraciones de materia orgánica del efluente,

Contaminantes	Situación actual	Propuesta de depuración	Propuesta Depuración 2

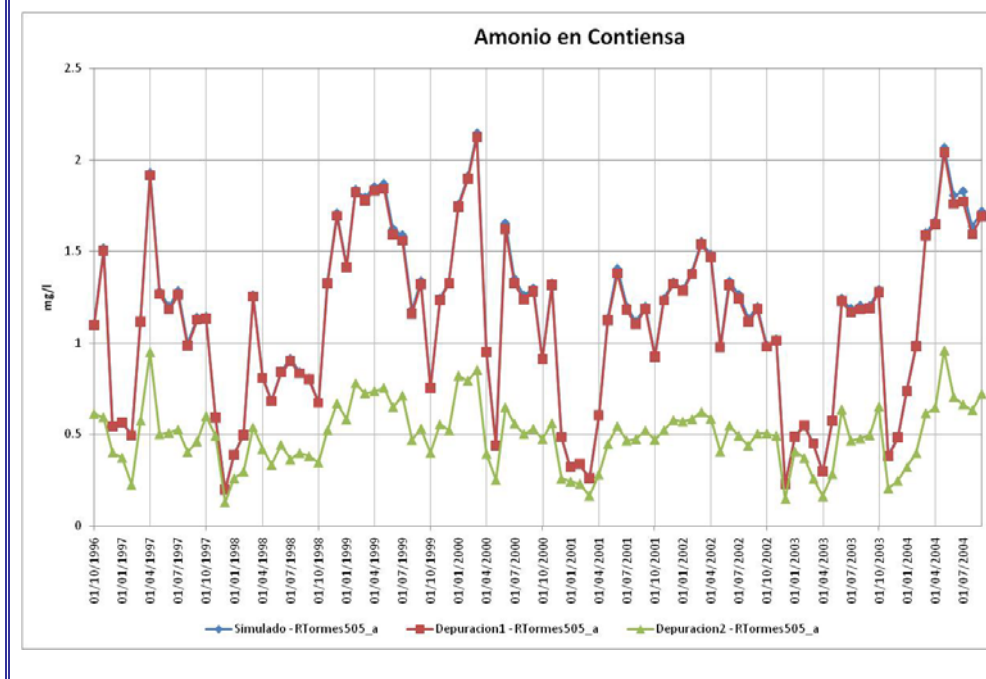
Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	868	868	868
Sólidos (mg/l)	200	20	20
Fósforo (mgP/l)	5.35	4	1
DBO ₅ (mg/l)	209	20	20
Oxígeno disuelto (mg/l)	5	4	4
Nitrógeno orgánico (mgN/l)	3	0.5	0.5
Amonio (mgNH_4/l)	25	20	5
Nitratos (mgNO_3/l)	13	10	10

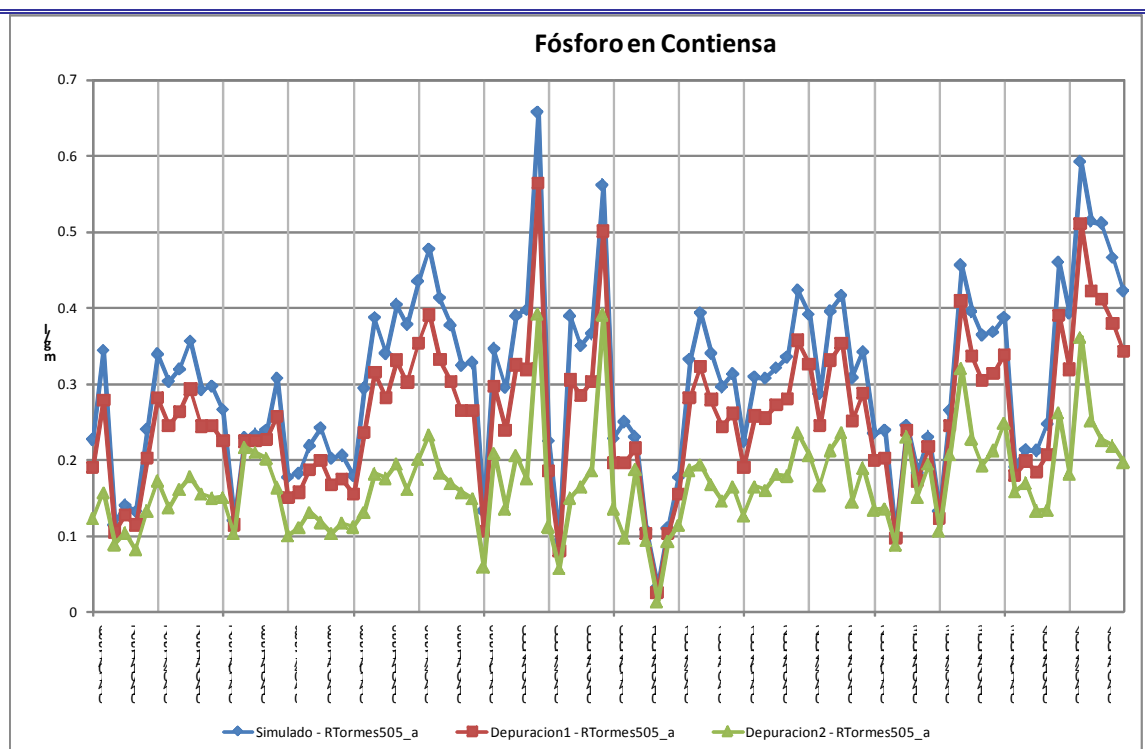
Analizando los resultados se puede ver que el oxígeno disuelto y la DBO5 mejoran en la estación de Contienza alcanzándose los objetivos.





Sin embargo debido a que tanto el fósforo como el amonio no cumplen los objetivos establecidos se debe proceder a una mejora en la depuración con los valores marcados en la tabla. Con esta depuración se obtienen los siguientes valores para el amonio y el fósforo.





Conclusiones

Para cumplir todos los objetivos establecidos se debe mejorar mucho en la depuración del vertido de Salamanca. Llegando a valores de DBO5 de 20 mg/l; de amonio de 5mg/l y de fósforo de 1mg/l. Esto supone mejorar mucho el tratamiento respecto la actualidad y al menos mantener las condiciones de caudal actuales.

- 
- Castilla y León -
 - Cantabria -
 - La Rioja -
 - Galicia -
 - Madrid -
 - Extremadura -
 - Castilla La Mancha -

OFICINA DE PLANIFICACIÓN
HIDROLÓGICA -
WATER PLAN OFFICE
Confederación Hidrográfica del Duero.
Duero River Basin Authority
C/ Muro, 5 E-47.004 VALLADOLID
España - *Spain*
E-Mail: oph@chduero.es
URL: <http://www.chduero.es>
Teléfono: 34 983 215 405
Fax: 34 983 215 466



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN
Y MEDIO AMBIENTE

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL DUERO

Pintura
"Pareja Tranquila" (90x55)
de Julio Sanjurjo

