



**Estudio de modelización del impacto
de los vertidos de la Edar de Arazuri
en el Río Arga**

DOCUMENTO DE SÍNTESIS

Agosto de 2011

DOCUMENTO DE SÍNTESIS

ÍNDICE

ÍNDICE	1
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Descripción de la zona de estudio	1
1.2. Presiones e impactos	2
1.3. Evolución histórica de la calidad del agua a lo largo del río Arga y perspectivas de futuro	6
2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO	11
3. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	13
3.1. Escenarios de cálculo	13
3.2. Metodología de estudio.....	15
3.3. Resultados	17
4. ACTUACIONES PARA LA MEJORA DE LA CALIDAD	25
4.1. Reducción de la carga contaminante y/o del caudal de la EDAR	25
4.2. Incremento del caudal en cabecera	27
4.3. Eliminación de azudes en el tramo de estudio	28
4.4. Reducción de la carga contaminante del río Arakil	29
5. CONCLUSIONES	33

1. ANTECEDENTES

1.1. Descripción de la zona de estudio

El río Arga, con una longitud de 145 km y una cuenca vertiente de 2760 km², discurre de Norte a Sur de la Comunidad Foral de Navarra hasta desembocar en el río Aragón, afluente del Ebro. En la cabecera del río Arga, en el término municipal de Esteribar, sus aguas son retenidas por la presa de Eugi, inaugurada el 13 de septiembre de 1973. El embalse correspondiente tiene una capacidad total de 21.39 Hm³, destinándose el agua principalmente al abastecimiento de la Comarca de Pamplona.

En relación con dicho abastecimiento, hay que señalar, con base en la información facilitada por la Mancomunidad de la Comarca de Pamplona, que la capacidad útil máxima es de 18.52 Hm³, que se reduce a 14.44 Hm³, si se considera el volumen existente por encima del nivel de la toma intermedia del embalse.

Ya al inicio del tramo medio del río, éste atraviesa la ciudad de Pamplona, en cuya área metropolitana se asientan más de 300.000 personas y donde existe un importante tejido industrial, junto con una destacable sucesión de azudes. Aguas abajo de dicha zona se localiza el tramo objeto de estudio, el cual está comprendido entre Pamplona y Puente La Reina.

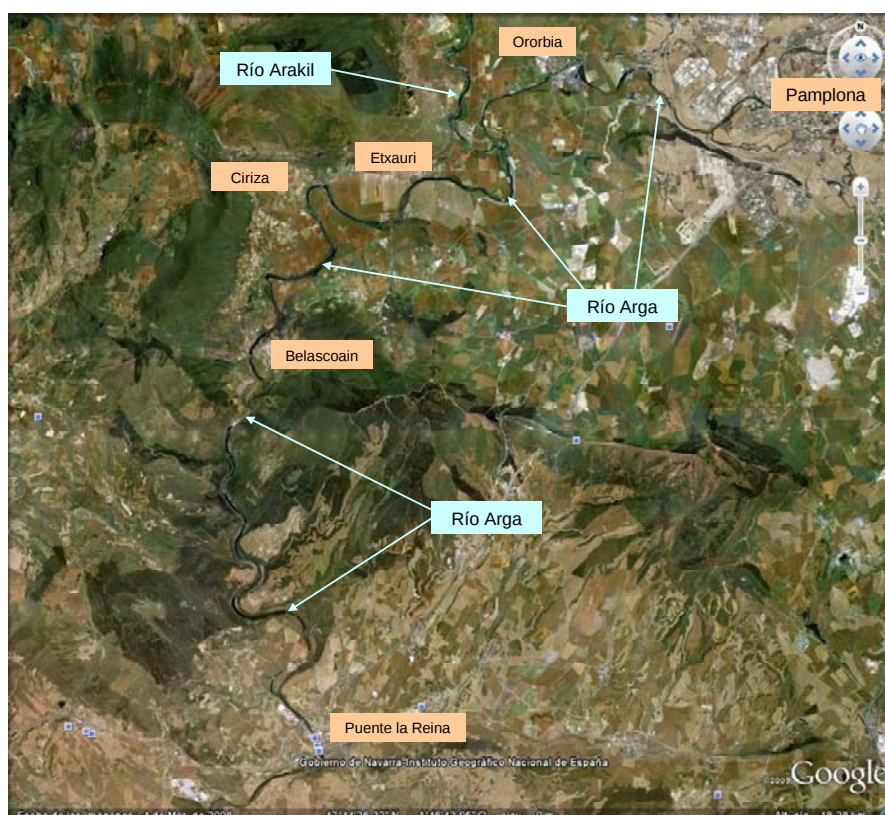


Figura 1.1. Imagen de satélite del tramo del río Arga objeto de estudio (Fuente: Google Earth).

Como se puede ver en la figura 1.1, en la primera parte del citado tramo de estudio, el trazado del cauce del río Arga se orienta en dirección SW, describiendo varios meandros, hasta llegar a las inmediaciones de las localidades de Etaxuri y Ciriza. A partir de dicho punto, el trazado del cauce pasa a tener una orientación S, con una ligera sinuosidad, condicionada por la presencia de diversos accidentes orográficos, como son la sierra de Sarvil y la de Esparaz, por la margen derecha, y la sierra de Ipaseta por la margen izquierda.

A lo largo del tramo en cuestión, el río Arga recibe la incorporación de varios afluentes. El más importante de ellos es el río Arakil. Su incorporación se produce por la margen derecha, en las proximidades de la localidad de Ibero. La aportación anual del río Arakil es elevada, mayor que la que presenta el río Arga en el punto de confluencia de ambos ríos.

En lo que respecta al comportamiento hidráulico, aunque predominan los tramos en los que el agua fluye libremente, con una velocidad apreciable, se aprecia también la existencia de numerosos remansos, derivados tanto de afloramientos rocosos (naturales), como de puentes y azudes (artificiales). Es importante señalar que los remansos artificiales asociados a azudes afectan aproximadamente al último tercio del tramo de estudio, entre las localidades de Belascoain y Puente la Reina.

1.2. Presiones e impactos

Entre las presiones consideradas como más importantes, cabe señalar las siguientes:

- **Vertido de la EDAR de Arazuri:**

La EDAR de Arazuri está ubicada en el Paraje El Soto, próxima al casco urbano de Arazuri, en el Municipio de Olza. Recibe el 99 % de las aguas residuales de la Comarca de Pamplona (104.000 m³/día), con una población aproximada de 270.000 habitantes.

En el año 1991 se llevó a cabo la puesta en marcha de la primera fase de la misma, compuesta por Pretratamiento y Tratamiento Primario, mientras que la segunda fase, que incorpora un Tratamiento Secundario, se puso en marcha en el año 1999. A partir del valor medio diario de la carga de DBO₅ en el agua residual afluente, se deduce que el número de habitantes equivalentes es del orden de 700.000.

En la fotografía de la figura 1.2 se muestra el detalle de la estructura de hormigón existente en el extremo del colector de desagüe del efluente de la EDAR, equipada con unos dientes en la solera, para dividir el flujo y facilitar su reaeración.



Figura 1.2. Vista de detalle de la estructura de salida del efluente de la EDAR.

Los rendimientos globales de la EDAR son claramente superiores a los requeridos por la Directiva 271/91/CEE para tratamiento secundario. Por otro lado, hay que señalar que las características del efluente cumplen las condiciones contempladas en la autorización de vertido de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE).

Aún así, el citado vertido supone una importante aportación de nutrientes para el fitoplancton, pudiendo favorecer su crecimiento. Es interesante señalar también que el caudal tratado en tiempo seco presenta un valor medio de $1 \text{ m}^3/\text{s}$, que es similar al caudal medio del río en situación de estiaje, lo cual lleva a presuponer que su capacidad de influir sobre la calidad del agua del río aguas abajo del punto de vertido puede ser importante.

- **Alivios de tormenta desde la red de saneamiento de Pamplona al río Arga:**

En periodos de estiaje, la existencia de aguaceros importantes puede dar lugar a vertidos directos o alivios desde la red de saneamiento hacia el propio río.

Al proceder de una red de saneamiento, que en algunas zonas es de tipo unitario, dichas aguas presentan una contaminación importante, sobre todo si los alivios se producen tras un período prolongado de ausencia de precipitaciones, debido a la previsible acumulación de suciedad en las calles.

Cabe esperar que se produzca una afección negativa en la calidad del agua del río, aunque sea de manera transitoria, que va a repercutir fundamentalmente en la disponibilidad de oxígeno disuelto para la biota, pues los alivios se caracterizan por una elevada DBO.

- **Incorporación del río Arakil:**

Tanto a nivel anual como en situaciones de estiaje, la aportación del río Arakil es algo mayor que la del río Arga, en el punto de confluencia de ambos ríos. Además, el caudal aportado por el citado río presenta unas concentraciones elevadas de DBO y de clorofila

a, que afectan negativamente a la calidad del agua en el tramo del río Argá situado aguas abajo de dicha incorporación.

- **Central hidroeléctrica de Etxauri:**

En el último tramo del río Arakil existen diversas infraestructuras hidráulicas que condicionan la manera en que se incorpora el caudal al río Argá. Una de ellas es la central hidroeléctrica de Etxauri, que toma el agua del río Arakil en el azud de Ibero, la conduce a través de un canal de derivación de 1.500 m de longitud, y la desagua al río Argá, tras el oportuno turbinado de la misma.

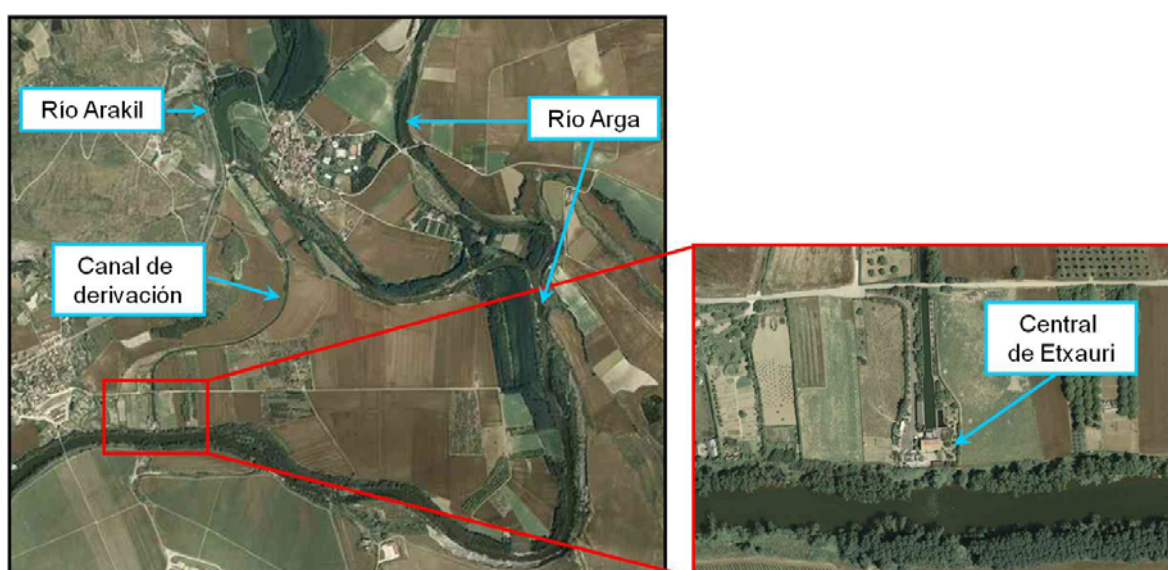


Figura 1.3. Localización de la Central de Etxauri y esquema en planta del aprovechamiento.

Durante la época de estiaje, el régimen de explotación de la central es tal que turbinada en poco tiempo (5-6 horas) la aportación diaria total del río Arakil, dejando prácticamente seco el tramo de cauce existente entre el azud y la confluencia natural con el río Argá, en una longitud aproximada de 1.5 km.

Además, en verano durante el periodo de retención del agua en el azud de Ibero y en el mencionado canal de derivación, se produce un importante crecimiento de fitoplancton, como consecuencia del elevado número de horas de luz y de la carga de nutrientes que tiene el río Arakil. Dicho fitoplancton se incorpora de manera localizada y concentrada al río Argá tras el turbinado.

- **Sucesión de azudes en la zona final del tramo de estudio:**

Entre las localidades de Belascoain y Puente la Reina existe una sucesión de azudes escalonados, uno de reciente construcción y cuatro en explotación, con alturas relativamente importantes, y cuyo objetivo es la producción hidroeléctrica.

La longitud de los remansos originados por los azudes en explotación varía entre 1.000 m y 3.000 m, mientras que la longitud estimada para el remanso que se originará una vez entre en funcionamiento el azud actualmente en construcción es de unos 4.900 m. Todo ello da lugar a una sucesión de remansos artificiales encadenados, cuya longitud total es aproximadamente igual a 12 km, es decir, la tercera parte de la longitud del tramo del río Argá objeto de estudio, como se puede ver esquemáticamente en el gráfico de la figura 1.4.

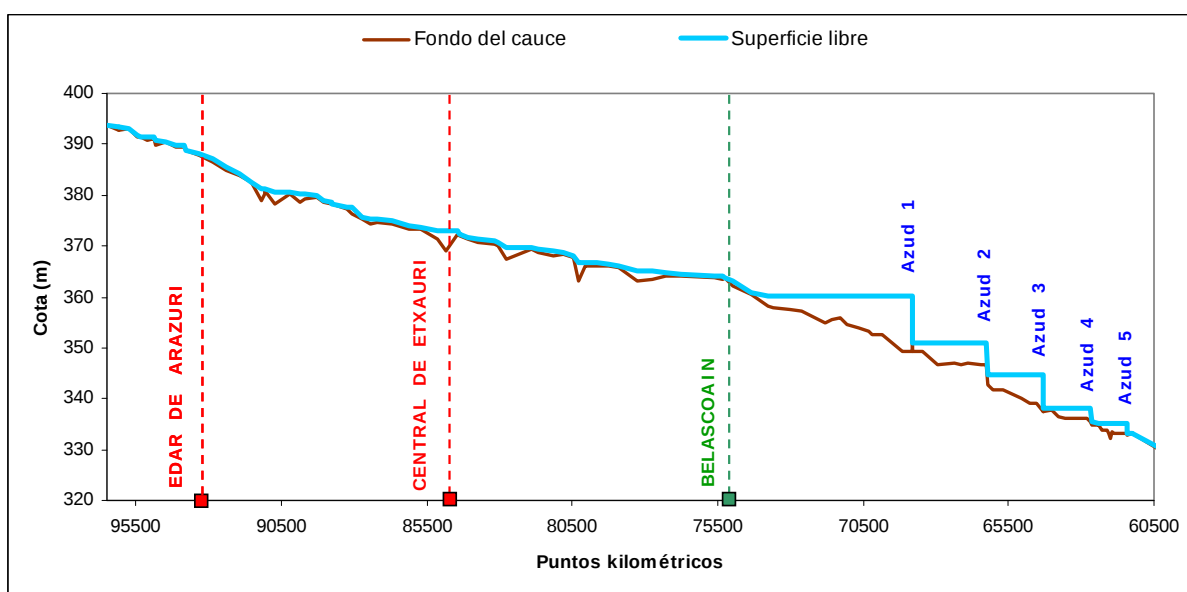


Figura 1.4. Perfil longitudinal del cauce y de la superficie libre en el tramo de estudio.

Desde el punto de vista hidráulico, los remansos de estos azudes reducen drásticamente la velocidad del agua y, con ello, la capacidad de autodepuración del propio río. En consecuencia, actúan como sumideros de nutrientes y materia orgánica, que favorecen, especialmente durante la época de estiaje, el desarrollo masivo de fitoplancton y el consumo elevado de oxígeno por parte de algunos microorganismos existentes en el bentos. De hecho, se han detectado problemas de hipoxia, incluso anoxia, a lo largo del tramo.

De todo ello se deduce que, aunque el vertido depurado de los efluentes procedentes del saneamiento de Pamplona se adecua a las exigencias de la legislación vigente, el tramo de cauce situado aguas abajo de la descarga de la EDAR presenta problemas de calidad, que lo alejan del objetivo del buen estado ecológico fijado por la Directiva Marco del Agua, especialmente en periodos de estiaje. Es por ello que se hace necesario analizar las diferentes presiones encontradas a lo largo del tramo, incluida la EDAR, a fin de poder establecer las mejores estrategias de gestión para paliar dichos problemas.

1.3. Evolución histórica de la calidad del agua a lo largo del río Arga y perspectivas de futuro

De los 15 puntos de muestreo de calidad del agua de los que dispone el Gobierno de Navarra en la cuenca del río Arga, cinco (Landaben, Ororbia, Etxauri, Belascoain y Puente la Reina) se encuentran dentro del tramo de estudio.

En concreto, la información recopilada en el punto de muestreo de la red de calidad ubicado en Ororbia, a una distancia aproximada de 2 km aguas abajo del punto de vertido de la depuradora, y con una extensa serie temporal de datos (1971-2010), ha permitido realizar una síntesis de la evolución histórica de la calidad del agua del río en dicha zona, valorando en cierta medida la influencia de la entrada en funcionamiento de la EDAR.

Como variables de interés se han considerado las siguientes: oxígeno disuelto (OD), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), amonio (NH_4), nitrato (NO_3), ortofosfato (PO_4) y materia orgánica (MO). En la figura 1.5 se incluyen diferentes gráficos, en los que se representan los valores medios anuales de cada una de ellas, tanto antes de la entrada en funcionamiento de la EDAR, como a posteriori. En este último período se han señalado también dos hitos importantes: la inauguración del pretratamiento y tratamiento primario (1991), y la puesta en marcha del tratamiento secundario biológico (1999).

Por último, con objeto de facilitar la interpretación del conjunto de valores registrados, se ha indicado en cada gráfico, mediante una línea roja, el valor límite considerado para que se puedan cumplir los objetivos de la Directiva Marco del Agua (DMA) para cada una de las variables, a partir del cual se puede determinar si la masa de agua alcanza o no el buen estado físico-químico.

Del análisis del contenido de la citada figura se puede deducir que, desde la puesta en marcha de la EDAR y, fundamentalmente, desde la entrada en funcionamiento del tratamiento secundario, la calidad del agua en la zona situada inmediatamente aguas abajo del punto de vertido de la depuradora ha mejorado de forma destacable, habiéndose conseguido que las variables más críticas para la consecución del buen estado físico-químico (oxígeno disuelto, DBO, amonio y ortofosfato) cumplan con los límites establecidos por la DMA.

De todas ellas, el ortofosfato es el que presenta más problemas a la hora de que la masa de agua alcance el buen estado, encontrándose el valor anual medio en el límite del cumplimiento. Por otro lado, la mejora general de todas las variables críticas ha supuesto un incremento de los niveles de nitrato en el agua, aunque éstos siguen por debajo del límite establecido, siendo interesante señalar, a este respecto, que el nitrato no es el nutriente limitante en ecosistemas de agua dulce, por lo que el mayor control, si se desean evitar el fenómeno de la eutrofización y sus problemas asociados, debe recaer sobre el ortofosfato.

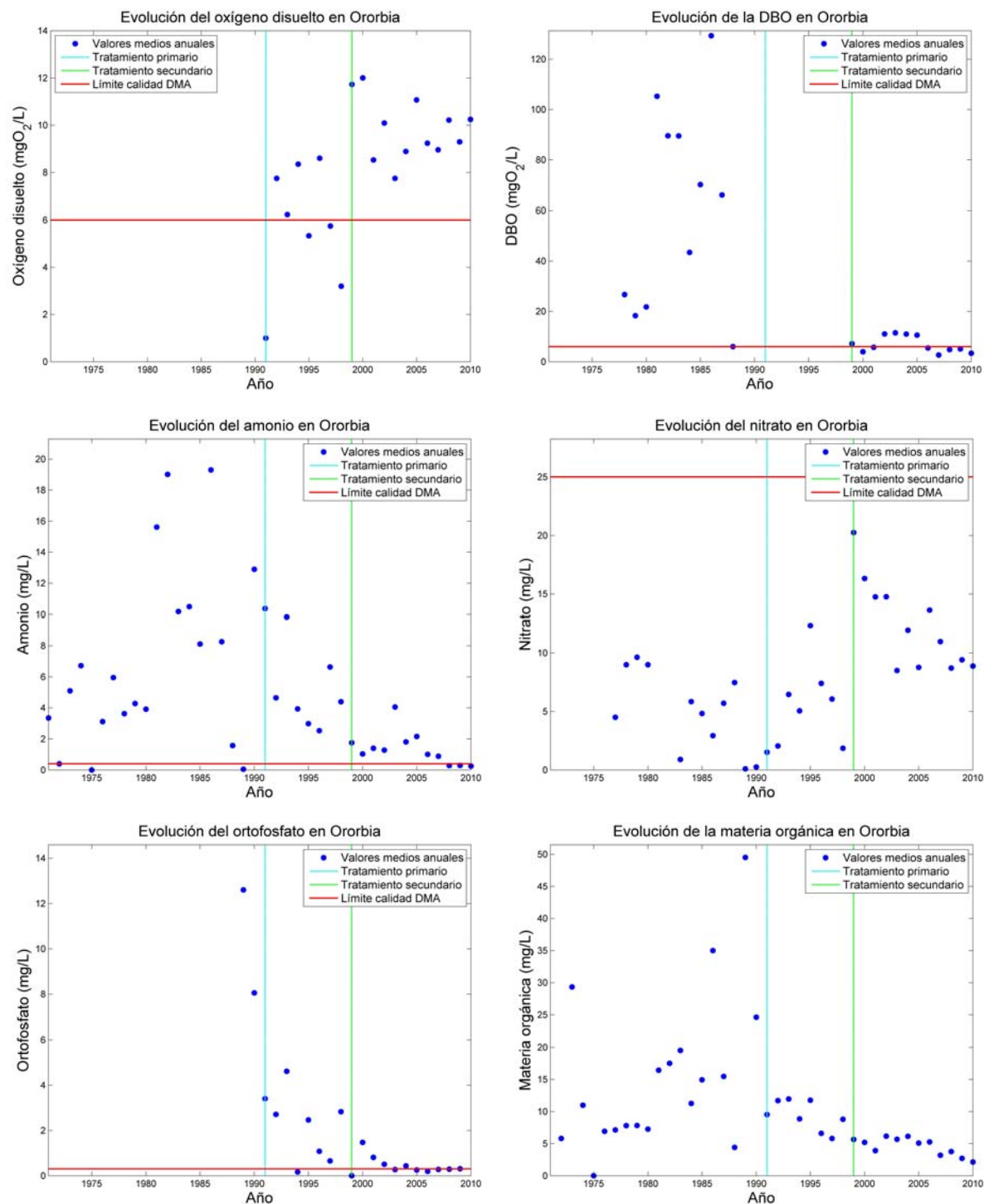


Figura 1.5. Evolución histórica de diversos parámetros característicos de la calidad del agua en Ororbia, 2 km aguas abajo del vertido de la EDAR de Arazuri.

En lo que se refiere a la materia orgánica, la tendencia también es clara, observándose que la concentración registrada sigue una reducción progresiva desde la entrada en funcionamiento de la EDAR. Este hecho es importante, pues no hay que olvidar que un excesivo aporte de materia orgánica suele traer consigo importantes procesos de descomposición en los fondos, que pueden agotar el oxígeno disuelto, principalmente en zonas de flujo léntico, donde la materia orgánica tiende a sedimentar.

A pesar de todas las salvedades que pudieran establecerse, en cuanto a la representatividad de los valores medios anuales, debido al mayor o menor número de medidas utilizadas para su determinación, cabe afirmar que la puesta en funcionamiento de la EDAR no ha supuesto un detrimento de la calidad ambiental del río Argá, sino todo lo contrario, una mejora significativa de la calidad del agua aguas abajo de la misma.

Por otro lado, es interesante resaltar la información relativa al estado de las masas de agua naturales del río Argá y al cumplimiento de los Objetivos Medio-Ambientales (OMA) establecidos para las mismas, extraída del Borrador del Plan Hidrológico del Ebro (2010-2015).

Según dicha información, que se refleja en las tablas 1.1 y 1.2, el tramo objeto de estudio, constituido básicamente por las masas 548 y 422, presenta un estado ecológico deficiente-moderado, no estando previsto el cumplimiento del Objetivo Medio-Ambiental para el año 2015, pero sí para el año 2027.

CÓDIGO MASA	DELIMITACIÓN
793	Desde la población de Olaverri hasta la cola del embalse de Eugi
541	Desde la presa de Eugi hasta el río Ulzama (inicio del tramo canalizado de Pamplona).
545	Desde el río Ulzama (inicio del tramo canalizado de Pamplona) hasta el río Elorz.
546	Desde el río Elorz hasta el río Juslapeña (final del tramo canalizado de Pamplona).
548	Desde el río Juslapeña (final del tramo canalizado de Pamplona) hasta el río Arakil.
422	Desde el río Arakil hasta el río Salado.
423	Desde el río Salado hasta su desembocadura en el río Aragón.

Tabla 1.1. Delimitación de las masas naturales del río Argá.

COD.MASA	ESTADO ECOLÓGICO	ESTADO QUÍMICO	ESTADO FINAL	OBJETIVOS 2015	PRÓRROGA 2027
793	MUY BUENO		CUMPLE	CUMPLE OMA	
541	BUENO		CUMPLE	CUMPLE OMA	
545	MODERADO		NO CUMPLE	CUMPLE OMA	
546	BUENO		CUMPLE	CUMPLE OMA	
548	DEFICIENTE		NO CUMPLE	NO CUMPLE OMA	SÍ
422	MODERADO	NO CUMPLE	NO CUMPLE	NO CUMPLE OMA	SÍ
423	MODERADO		NO CUMPLE	NO CUMPLE OMA	SÍ

Tabla 1.2. Evaluación del estado de las masas naturales del río Argá y perspectivas de futuro.

2. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

En el marco antes descrito, el objetivo general del presente Estudio ha sido el de analizar, mediante la aplicación de herramientas matemáticas, el impacto de las presiones mencionadas sobre la calidad de las aguas del río Argá en el tramo comprendido entre Pamplona y Puente la Reina.

Dentro de este objetivo general, cabe distinguir los siguientes aspectos, que pueden considerarse como objetivos particulares del estudio:

- El establecimiento de modelos matemáticos que permitan simular la calidad del agua del río en diferentes situaciones.
- El diagnóstico de la situación actual y la localización de aquellos tramos de cauce con peor calidad, identificando las causas de dicho comportamiento.
- La búsqueda de estrategias de gestión ambiental que más contribuyan a la mejora de la calidad del agua en las diferentes zonas.

3. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Teniendo en cuenta los objetivos planteados en el apartado anterior, se ha procedido a simular el comportamiento del tramo de río en cuestión, con objeto de obtener perfiles longitudinales de variación de la concentración de diferentes variables de estado que se consideran características a la hora de valorar la calidad del agua del río.

3.1. Escenarios de cálculo

El análisis de los datos históricos de calidad y de los resultados obtenidos en algunos estudios precedentes ha puesto de manifiesto que las situaciones más conflictivas tienen lugar, generalmente, en períodos de estiaje, coincidiendo o no con alivios de tormenta de la red de saneamiento de Pamplona. Con objeto de valorar la influencia de estos aspectos, se han establecidos los siguientes escenarios de cálculo, tratando de reflejar situaciones representativas:

- Estiaje medio
- Estiaje severo
- Alivios de tormenta

Con base en la información registrada en varias estaciones de aforo, pertenecientes a la red del Gobierno de Navarra y al SAIH del Ebro, se han establecido como caudales medios representativos en la cabecera del tramo estudio del río Argá y en la incorporación del río Arakil los que se indican en la tabla 3.1, habiéndose podido constatar también que, en épocas de estiaje, la incorporación del citado río Arakil se produce a través de la central hidroeléctrica de Etxauri, concentrando toda la aportación diaria del mismo en unas pocas horas.

	Estiaje medio	Estiaje severo	Alivios tormenta
Río Argá	1.23	0.50	1.23
Río Arakil	1.27	0.70	1.27
Vertido EDAR	1.00	1.00	1.00
Alivio local	-----	-----	4.00 / 4.00
Hidrogr. cabecera	-----	-----	0.00 / 11.00

Tabla 3.1. Caudales medios y/o máximos (m^3/s) en la cabecera del tramo de estudio y en las incorporaciones de caudal.

En realidad, el vertido de la EDAR no se produce en forma de caudal constante, sino que presenta una cierta variación a lo largo del día. Con base en la información facilitada por la Mancomunidad de la Comarca de Pamplona (MCP), se ha adoptado como representativo un valor medio de $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$, con un rango de variación intradiaria comprendido entre $0.6 \text{ m}^3/\text{s}$ y $1.3 \text{ m}^3/\text{s}$.

En el tercero de los escenarios de cálculo se han incluido dos variantes, derivadas de la consideración de sendos aguaceros de carácter local o generalizado a una cuenca, respectivamente. En el primero de los casos se ha establecido un hidrograma de vertido de tipo triangular, con una duración de 2 horas y caudal punta de 4 m³/s, que se incorpora al río Arga en un punto situado ligeramente aguas arriba del correspondiente al vertido de la EDAR.

En el segundo de los casos, además del alivio de la red de saneamiento, idéntico al establecido en el párrafo anterior, se ha establecido un hidrograma adicional en la cabecera del tramo de estudio, de forma triangular, superpuesto al caudal medio circulante, con una duración de 4 horas y caudal punta de 11.0 m³/s. Se ha considerado que el comienzo de este hidrograma de avenida se produce media hora después de haber comenzado el alivio de tormenta.

En lo que hace referencia a la calidad del agua, con objeto de rellenar algunas lagunas espaciales de información y completar la existente en algunas zonas con la realización de muestreos en diferentes momentos del día, se llevó a cabo una campaña específica de calidad, por parte de técnicos de Namainsa, durante los días 24 y 25 de agosto de 2010.

Se seleccionaron 12 puntos de muestreo, de los que tan sólo 4 eran coincidentes con los utilizados habitualmente en las campañas de calidad del Gobierno de Navarra. A la hora de seleccionar los 8 restantes se tuvieron muy en cuenta los objetivos antes indicados, siendo de destacar los 5 puntos localizados en las zonas de remanso asociadas a los azudes en explotación, en los que se realizaron medidas a diferentes profundidades.

Los resultados de dicha campaña de calidad han servido, por una parte, para establecer las condiciones de contorno, en términos de concentración de las diferentes variables de estado, en la cabecera del tramo de estudio y en la incorporación del río Arakil. Dichos valores, junto con los correspondientes al vertido de la EDAR, se presentan en la tabla 3.2.

Punto	OD (mgO₂/l)	DBO (mgO₂/l)	N-NH₄ (mg/l)	N-NO₃ (mg/l)	P-PO₄ (mg/l)	Fitoplancton (µchl A/l)
Cabecera	8.72	6.05	0.05	0.43	0.02	21.52
EDAR	6.50	6.00	0.50	6.56	0.16	0.00
Arakil	7.39	12.85	0.10	0.14	0.02	41.03

Tabla 3.2. Valor medio de las variables de estado seleccionadas en los puntos de incorporación de caudal.

Los datos del vertido de la EDAR, que corresponden también al día de realización de la campaña de calidad, han sido facilitados por la Mancomunidad de la Comarca de Pamplona, pudiéndose comprobar que cumplen con creces las exigencias de la autorización de vertido de la CHE, que se indican en la Tabla 3.3. La concentración de OD en el punto de vertido ha sido medida por técnicos de Namainsa.

Variable	Valor límite
Sólidos en suspensión (mg/l)	< 35
DQO (mg/l)	< 125
DBO ₅ (mg/l)	< 25
NT (mg N/l)	< 10

Tabla 3.3. Valores límite de la autorización de vertido de la CHE.

En cuanto a los datos de concentración de contaminantes en el alivio de la red de saneamiento, al no disponer de información concreta procedente de una campaña específica, se ha considerado oportuno recurrir a la bibliografía especializada, con objeto de poder establecer unos valores medios representativos, que son los que se indican en la Tabla 3.4, que se han considerado constantes durante las 2 horas de duración del alivio.

OD (mgO ₂ /L)	DBO _u (mgO ₂ /L)	N-NH ₄ (mg/L)	N-NO ₃ (mg/L)	P-PO ₄ (mg/L)	SS (mg/L)
2.00	50.00	4.67	1.08	0.36	200

Tabla 3.4. Concentraciones para las distintas variables de estado en el alivio.

3.2. Metodología de estudio

Para la consecución de los objetivos considerados en el presente Estudio se ha recurrido a la utilización de modelos o herramientas numéricas, con el fin de realizar la simulación de los diferentes procesos implicados, tanto en régimen permanente como no permanente.

En el primero de los casos se ha utilizado un proceso secuencial, con dos modelos independientes: uno hidráulico (HEC-RAS) y otro de calidad (QUAL2K), mientras que en el segundo de los casos se ha utilizado un único modelo (WASP7), que incluye en su definición un subprograma hidráulico y otro de calidad.

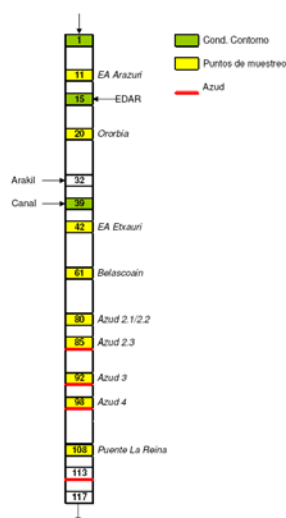


Figura 3.1. Discretización longitudinal del tramo del río Argá objeto de estudio.

En cualquier caso, hay que señalar que la caracterización geométrica e hidráulica del tramo de estudio se ha visto facilitada por el hecho de disponer de los ficheros de datos de un estudio previo de inundabilidad llevado a cabo por el Gobierno de Navarra.

La conceptualización de la Situación Actual se ha materializado, a efectos de cálculo, en 117 tramos sucesivos, como se muestra en la figura 3.1, en la que se identifican además los tramos en los que se ubican los diferentes puntos de muestreo de la calidad del agua del río utilizados durante la campaña de agosto de 2010.

Aunque la confluencia del río Arakil con el río Arga se produce en el tramo 32, la incorporación real del caudal aportado por el mismo tiene lugar a través de la central hidroeléctrica de Etxauri en el tramo 39.

Para llevar a cabo la simulación de la evolución de la calidad del agua a lo largo del tramo de estudio, mediante los modelos antes indicados, ha sido necesario definir los valores de los parámetros que intervienen en las diferentes reacciones y procesos de transferencia de masa que tienen lugar en el seno de cada elemento o segmento de cálculo.

Se ha recurrido para ello a un proceso de calibración, comparando los resultados de las simulaciones con valores reales en diferentes puntos del tramo de estudio. En este sentido, la información utilizada ha sido la derivada de la campaña de calidad llevada a cabo los días 24 y 25 de agosto de 2010. Es interesante señalar que, durante dichas fechas, el régimen real de caudales ha sido sensiblemente coincidente con el establecido en la tabla 3.1 para el escenario definido como estiaje medio.

Una vez establecidos los valores de los parámetros, éstos se han mantenido constantes en las simulaciones efectuadas en los diferentes escenarios de cálculo.

A la hora de valorar la calidad del agua del río, se han tenido en cuenta una serie de indicadores, atendiendo a diferentes aspectos, tal y como se puede ver en la tabla 3.5. Además, se han utilizado diversos criterios que establecen unos valores límite para los mismos, como se indica más adelante.

Aspecto	Indicadores
Condiciones de oxigenación	OD
Contaminación orgánica	DBO ₅ y NH ₄
Riesgo de eutrofización	NO ₃ y PO ₄
Estado trófico	Chl A

Tabla 3.5. Indicadores de calidad.

Con base en lo indicado en diferentes normativas, el Departamento de Desarrollo Rural y Medio Ambiente del Gobierno de Navarra ha establecido los umbrales que se reflejan en las tablas 3.6 y 3.7, que sirven para valorar el estado físico-químico del agua. Dichos criterios son los que se tienen en cuenta en la elaboración, por parte de Namainsa, de la Memoria Anual de la red de calidad de las aguas superficiales.

Estado	Hasta río Arakil	Desde río Arakil
Muy Bueno	> 7.4	> 6.5
Bueno	7.4 – 6.6	6.5 – 5.0
Moderado	6.6 – 4.0	5.0 – 4.0
Malo	< 4.0	< 4.0

Tabla 3.6. Valor mínimo anual de la concentración de oxígeno disuelto.

Estado	DBO ₅	NH ₄	NO ₃	PO ₄
Muy Bueno	≤ 4	≤ 0.25	≤ 10	≤ 0.15
Bueno	4 – 6	0.25 – 0.40	10 – 25	0.15 – 0.30
Moderado	6 – 10	0.40 – 1.00	25 – 50	0.30 – 0.94
Malo	> 10	> 1.00	> 50	> 0.94

Tabla 3.7. Promedio anual de diversos indicadores.

Como se ha indicado anteriormente, la valoración del estado trófico del tramo de cauce objeto de estudio se ha realizado con base en la concentración de clorofila *a*. Los rangos de variación correspondientes a los diferentes estados se muestran en la tabla 3.8.

Estado	Concentración de clorofila <i>a</i> (mg Chl A / m ³)
Ultraoligotrófico	< 1.0
Oligotrófico	1.0 – 2.5
Mesotrófico	2.5 – 8.0
Eutrófico	8.0 – 25.0
Hipereutrófico	> 25.0

 Tabla 3.8. Clasificación del estado trófico de un medio acuático en función de la concentración media de clorofila *a* (OCDE).

3.3. Resultados

El primero de los escenarios de cálculo considerados, correspondiente a la situación denominada de estiaje medio, se ha utilizado como básico y representativo a la hora de realizar el diagnóstico de la Situación Actual. Asimismo, ha servido de referencia para valorar la influencia de los aspectos característicos del resto de los escenarios de cálculo.

Hay que comenzar por señalar que la simulación del comportamiento hidráulico del tramo de estudio, en régimen permanente, en la mencionada situación de estiaje medio, con el régimen de caudales indicado en la tabla 3.1, ha puesto de manifiesto que el tiempo que tarda el flujo en recorrer los 36 km del mismo es de 4 días y medio, si bien hay que precisar que más del 80 % de dicho tiempo se consume en recorrer los algo más de 7 km que constituyen la suma de las longitudes de los remansos originados por los azudes en explotación. En algunos tramos de estos últimos existen profundidades relativamente importantes, superiores a 1.5 m. Los tiempos de recorrido antes indicados son mayores cuando se considera el régimen de caudales correspondientes a la situación de estiaje severo.

El alivio de la red de saneamiento da lugar a una modificación transitoria del régimen de caudales en el río, que es más acusada en las inmediaciones del punto de vertido y se va laminando conforme se desplaza la onda hacia aguas abajo. Al cabo de 2.5 horas se deja sentir su repercusión en el punto de incorporación del río Arakil, y transcurridas 18 horas no se aprecian ya variaciones respecto al régimen existente antes del alivio.

En lo que hace referencia a la simulación de la calidad del agua, en la figura 3.2 se muestran los perfiles longitudinales de las diferentes variables de estado consideradas, en la situación de régimen permanente, junto con los rangos de variación de los diferentes estados del agua, cuyos valores numéricos se reflejan en las tablas 3.6 a 3.8.

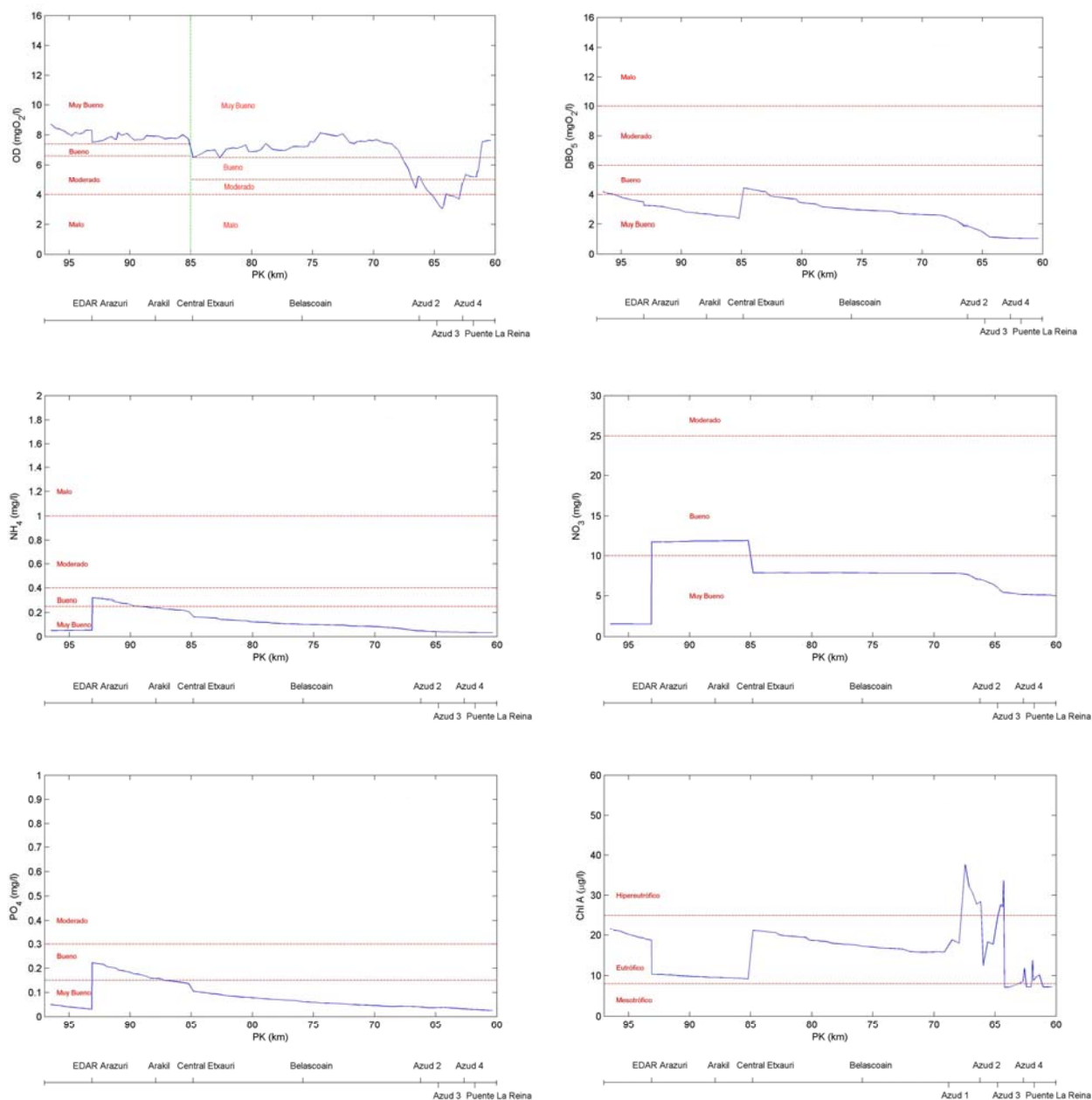


Figura 3.2. Perfiles longitudinales de las concentraciones de las diferentes variables de estado, para la simulación en régimen permanente.

Aunque los gráficos incluidos en la figura 3.2 son suficientemente explicativos por sí mismos, cabe resaltar que, teniendo en cuenta los valores de la DBO y las

concentraciones de amonio, nitratos y ortofosfatos, el estado del río puede considerarse comprendido entre bueno y muy bueno, según los tramos. Por el contrario, en lo que respecta a la concentración de oxígeno disuelto, la conclusión es bastante diferente, ya que el estado del río en los remansos originados por los azudes puede catalogarse como moderado o malo en algunos tramos.

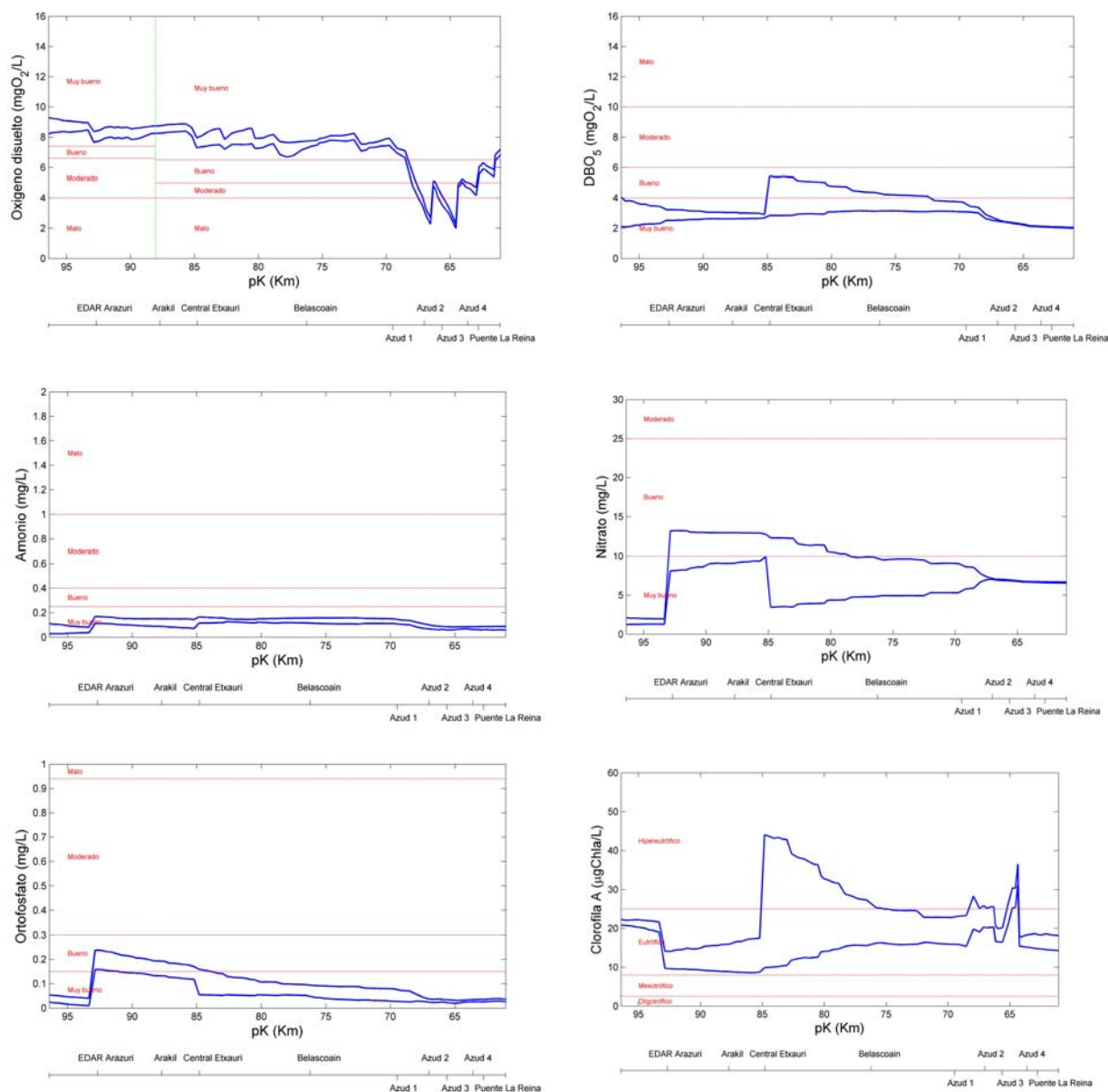


Figura 3.3. Envolventes de máximos y mínimos de las concentraciones de las diferentes variables de estado, para la simulación en régimen no permanente.

Se ha valorado también el estado trófico del tramo de cauce objeto de estudio. Al aplicar los límites antes indicados se deduce que, salvo el tramo comprendido entre el vertido de la EDAR y la incorporación del río Arakil, en el que el estado del río se puede clasificar casi

como mesotrófico, en el resto de la zona de estudio el nivel alcanzando por la concentración de clorofila *a* lleva a alcanzar el estado eutrófico e incluso el hipereutrófico, según las zonas.

En la simulación de la calidad del agua en régimen no permanente se ha tenido en cuenta la variación intradiaria del vertido de la EDAR y el régimen de explotación de la central hidroeléctrica de Etxauri, a través de la que se produce la incorporación del caudal procedente del río Arakil. Con objeto de facilitar el análisis, los resultados se han presentado en forma de líneas envolventes de máximos y mínimos para cada una de las variables de estado consideradas. Su representación gráfica se muestra en la figura 3.3, siendo de resaltar la utilización de las mismas escalas que en la figura 3.2.

Desde el punto de vista físico-químico, si se considera la concentración de oxígeno disuelto, la conclusión es bastante parecida a la obtenida en el caso de régimen permanente. Por el contrario, las envolventes de valores máximos correspondientes a la DBO y a las concentraciones de amonio, nitratos y ortofosfatos representan, en general, situaciones más desfavorables que las correspondientes a la simulación en régimen permanente, sin llegar a suponer, no obstante, un cambio de categoría en la calificación del estado del agua.

En lo que hace referencia al estado trófico del tramo de estudio, la envolvente de valores máximos de la concentración de clorofila *a* pone de manifiesto que el tramo situado aguas abajo de la incorporación del río Arakil alcanza un nivel hipereutrófico en algunos momentos del día, en una longitud aproximada de 10 km, tanto mayor cuanto más próximo se sitúe el punto en cuestión a la mencionada incorporación del río Arakil. Ello es debido a la combinación de un caudal importante y a una elevada concentración de clorofila *a*.

Con base en lo indicado anteriormente, se deduce que la consideración del régimen no permanente en la incorporación del río Arakil da lugar a un empeoramiento del estado del agua del río, respecto a la simulación en régimen permanente.

Los resultados de la simulación de la situación de estiaje severo, cuyas características se han indicado en las tablas 3.1 y 3.2, analizados comparativamente con los correspondientes a la situación de estiaje medio, han servido para valorar la repercusión de un descenso en los caudales naturales circulantes por el río en la calidad del agua del mismo.

Dado que las variables de estado más críticas son el oxígeno disuelto y la clorofila *a*, el análisis se ha centrado en las mismas, mostrándose en los gráficos de la figura 3.4 las envolventes de valores mínimos para la concentración de oxígeno disuelto y las de valores máximos para la concentración de clorofila *a*, correspondientes a las dos situaciones de estiaje consideradas.

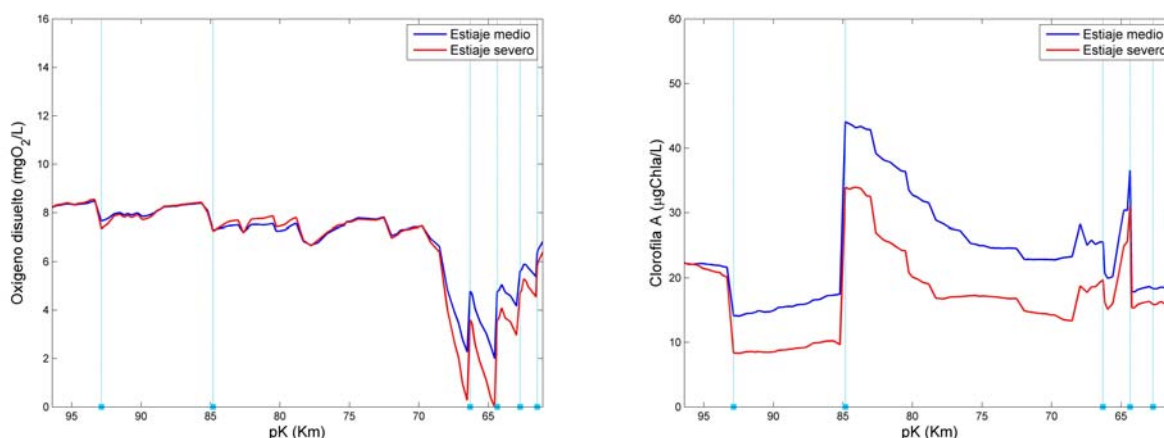


Figura 3.4. Análisis comparativo de envolventes en las dos situaciones de estiaje consideradas.

En dichos gráficos se observa, por una parte, que la concentración de oxígeno disuelto disminuye apreciablemente en los remansos de los azudes, empeorando la calidad del agua en dicha zona. Por otro lado, el estado trófico del río mejora en una buena parte del mismo, disminuyendo la concentración de clorofila *a*. Dicha disminución es debida a la dilución producida por el vertido de la EDAR, a pesar de que dicho vertido produce un incremento en la concentración de nutrientes aguas abajo del mismo.

La simulación en régimen no permanente del tercero de los escenarios considerados ha tenido como objetivo el análisis de la repercusión del alivio de tormenta allí indicado en la calidad del agua del río, tanto en su dimensión espacial como temporal.

Con objeto de simplificar dicho análisis, se ha recurrido a representar gráficamente los perfiles longitudinales de la concentración de oxígeno disuelto y de la DBO, al cabo de 1 hora y de 25 horas de iniciarse el alivio de la red de saneamiento, tomando como referencia los perfiles correspondientes a la situación de estiaje medio, como se puede ver en las figuras 3.5 y 3.6.

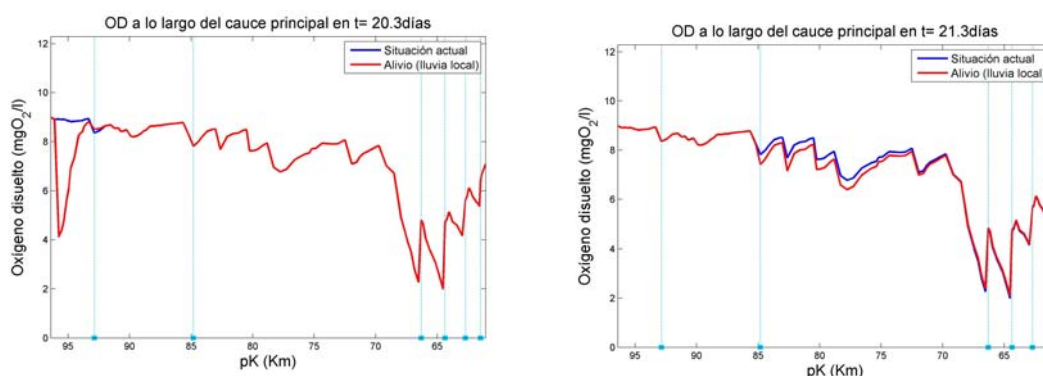


Figura 3.5. Repercusión del alivio de tormenta en la concentración de oxígeno disuelto.

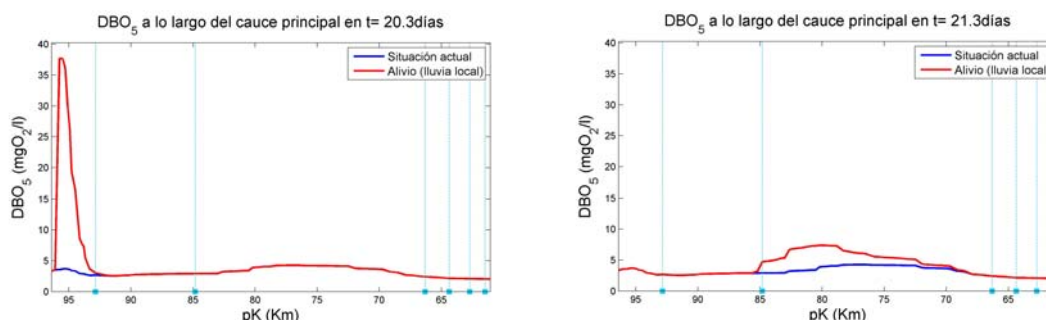


Figura 3.6. Repercusión del alivio de tormenta en la concentración de DBO.

Al analizar el contenido de los gráficos incluidos en las citadas figuras, se constatan las importantes variaciones que se producen en los instantes posteriores al comienzo del vertido, en la zona próxima al mismo, y la manera en que dichas variaciones se transmiten hacia aguas abajo, amortiguándose.

A la vista de los resultados de las simulaciones en régimen permanente y no permanente, se pueden establecer las siguientes conclusiones sobre la calidad del agua del río, en el tramo objeto de estudio, en la Situación Actual:

- El vertido de la EDAR produce un ligero aumento de la DBO y de la concentración de nutrientes, que se deja sentir aguas abajo de la misma, en un tramo de unos 8 km de longitud. Este incremento es algo mayor cuando el estiaje es más severo. Sin embargo, la reducción de la concentración de oxígeno disuelto está lejos de ser preocupante.
- A pesar de que la incorporación del caudal del río Arakil a través de la central de Etxauri implica una dilución de los nutrientes en el río Argá, el efecto más notable de esta incorporación es el aumento en los valores de DBO y, especialmente, de la clorofila *a*.
- En la parte final del tramo, en la zona regulada por los azudes, los aumentos en la concentración de clorofila *a* son muy significativos. Se produce una disminución de los nutrientes por su consumo durante la producción primaria, lo que se relaciona también con el descenso de la concentración de OD en la zona, de forma que aparecen condiciones de hipoxia (incluso anoxia) en el fondo del cauce.
- Por el contrario, considerando la DBO y la concentración de nutrientes, la aplicación de los criterios considerados en la tabla 3.7 permite calificar el estado del río como "Muy Bueno" en general, con una zona en estado "Bueno" en el entorno de la incorporación del Arakil.
- Por otro lado, la aplicación del criterio de la OCDE sobre estado trófico, pone de manifiesto la situación de eutrofia de la totalidad del tramo de estudio, que incluso llega a ser de hipereutrofia en los remansos de los azudes y en un cierto tramo situado aguas abajo de la incorporación del río Arakil.

- Los alivios de tormenta de la red de saneamiento tienen una clara repercusión en las inmediaciones del punto de vertido, llegando a afectar a la totalidad del tramo de estudio, aunque de manera diferida y amortiguada.

Con base en todo lo anterior, se deduce que el efluente de la EDAR no es la causa principal de los problemas que presenta la calidad del agua. De hecho, los impactos más notables se producen por la incorporación del río Arakil y por la existencia de los azudes.

En relación con estos últimos, los remansos a los que dan lugar favorecen procesos de eutrofización, con un crecimiento masivo de fitoplancton, especialmente en verano, cuando las condiciones de luz y de nutrientes (algunos suministrados desde la EDAR, aunque no todos) son óptimas para su desarrollo.

Además, la regulación artificial del flujo procedente del río Arakil da lugar a la acumulación de nutrientes y fitoplancton en el remanso del azud de Ibero, que se incorporan al río Arga a través de la central de Etxauri, afectando a un tramo importante del cauce aguas abajo de dicha incorporación, con valores máximos de la concentración de clorofila *a* superiores a 35 mg/l.

La puesta en explotación del nuevo azud contribuirá, salvo que se tomen medidas, a un incremento de dichos niveles de eutrofización. En este caso, cabe esperar que los valores más altos de la concentración de clorofila *a* se producirán en el remanso del nuevo azud, trasladando por tanto el problema hacia aguas arriba, respecto a lo que acontece en la Situación Actual.

Finalmente, cabe señalar que el estudio de un único alivio de tormenta, basado en consideraciones de tipo subjetivo, no permite obtener resultados concluyentes sobre la influencia real de estos fenómenos sobre la calidad del río a medio y largo plazo. Para llevar a cabo un estudio adecuado de los mismos sería necesario modelar el régimen de alivios del sistema de saneamiento de Pamplona durante un periodo representativo.

4. ACTUACIONES PARA LA MEJORA DE LA CALIDAD

El diagnóstico de la Situación Actual realizado en el apartado anterior, ha puesto de manifiesto que el tramo del río Argá objeto de estudio presenta una serie de problemas de calidad del agua.

Por ello, de acuerdo con lo indicado en el Anexo Técnico del Convenio de colaboración, se ha planteado la realización de diversas actuaciones, con un objetivo común: la mejora de la calidad del agua del río. Las características de las mismas son muy variadas: unas tratan de disminuir las cargas contaminantes que acceden al tramo de estudio; otras tratan de mejorar la dilución de dichas cargas; y otras están enfocadas a mejorar el comportamiento hidrodinámico.

A la hora de valorar las mejoras obtenidas con cada una de dichas actuaciones, se ha optado por utilizar como término referencia la Situación Actual, por considerar que las variaciones de caudal debidas al régimen de explotación de la Central Hidroeléctrica de Etxauri tienen una repercusión importante en la calidad del agua.

Por otro lado, hay que tener presente, como ya se ha indicado en dicho diagnóstico, que la concentración de oxígeno disuelto y la de clorofila *a* son las variables que condicionan, de manera más crítica, la calidad del agua del río. Sobre ellas se ha centrado, fundamentalmente, el análisis comparativo.

4.1. Reducción de la carga contaminante y/o del caudal de la EDAR

Se engloban dentro de este subapartado tres alternativas diferentes, encaminadas todas ellas a evaluar el efecto del vertido de la EDAR en el tramo de estudio:

- Aumento de la eficiencia de los tratamientos de la EDAR, de tal forma que la concentración de nutrientes (amonio, nitrato y fosfato) se vea reducida en un 50%, manteniendo inalterado el caudal del vertido.
- Vertido del efluente sin carga contaminante, manteniendo inalterado el caudal del mismo, lo cual constituye una situación límite y utópica.
- Eliminación total del vertido, tratando de reflejar la situación límite que se produciría en el caso de reutilizar la totalidad del efluente de la EDAR.

En la figura 4.1 se presenta un resumen comparativo de los resultados obtenidos en las simulaciones de las dos alternativas relacionadas con la mejora del proceso de depuración de la EDAR, pudiéndose comprobar que la envolvente de valores mínimos de la concentración de oxígeno disuelto apenas experimenta variación en los diferentes escenarios de cálculo considerados, presentando valores muy bajos en los remansos de los azudes.

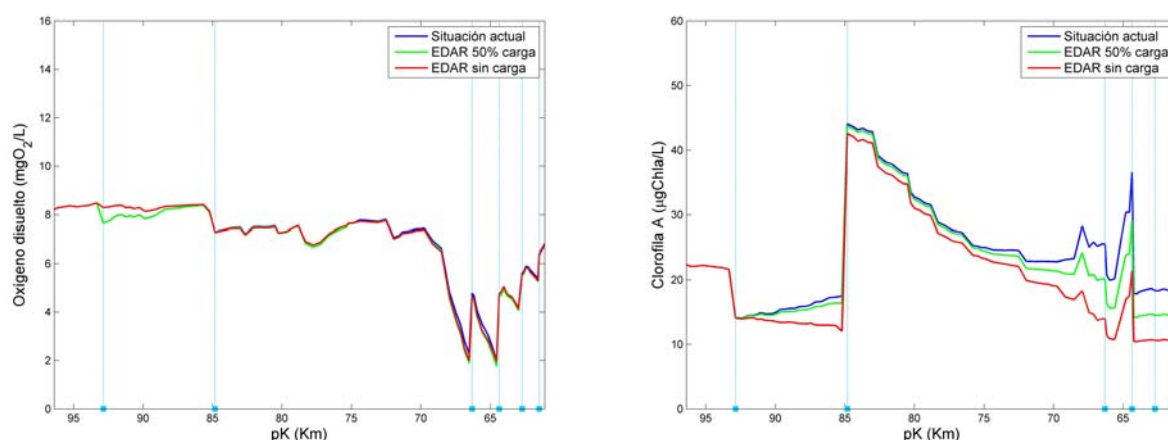


Figura 4.1. Envolventes de las concentraciones de oxígeno disuelto y clorofila *a*, para diferentes niveles de depuración de la EDAR.

En lo que hace referencia a la envolvente de valores máximos de la concentración de clorofila *a*, en el gráfico correspondiente se aprecia que la situación que se produce en las inmediaciones de la incorporación del río Arakil es muy similar en todos los casos, ya que está condicionada por la elevada concentración que presenta el caudal de aportación. Desde dicho punto hacia aguas abajo, la situación evoluciona de manera parecida, con disminuciones más acusadas conforme aumenta el nivel de depuración de la EDAR, debido a que la reducción en la disponibilidad de nutrientes lleva aparejada una limitación en el crecimiento del fitoplancton.

Análogamente, en la figura 4.2 se presentan los resultados obtenidos en la simulación del escenario que contempla la anulación del vertido de la EDAR, comparándolos con los correspondientes a la Situación Actual.

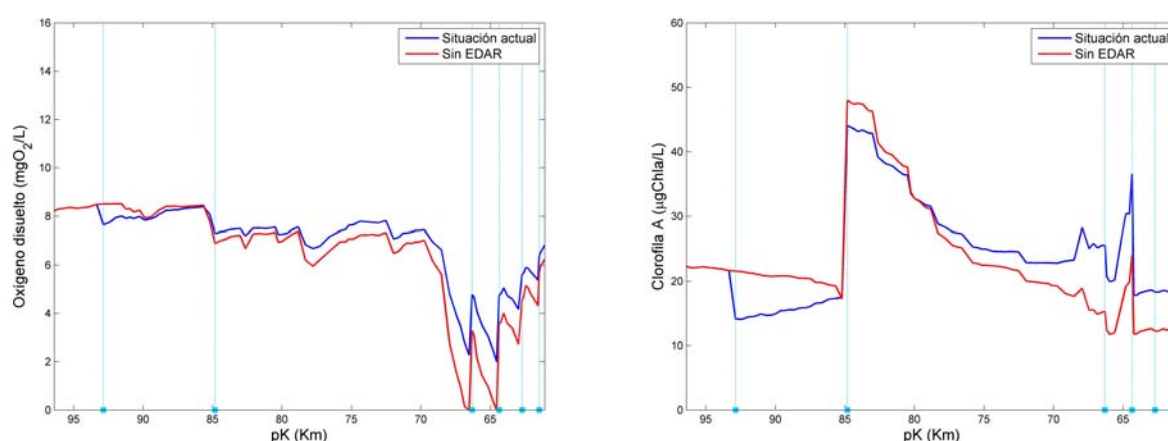


Figura 4.2. Envolventes de las concentraciones de oxígeno disuelto y clorofila *a*, en el caso de anular totalmente el caudal vertido por la EDAR.

La eliminación del vertido de la EDAR modifica el régimen de caudales circulantes por el río aguas abajo de la misma, lo cual afecta negativamente a la velocidad del flujo,

aumentando el tiempo de recorrido del mismo, sobre todo en los remansos de los azudes. Ello da lugar a una disminución importante de los valores mínimos de la concentración de oxígeno disuelto en dicha zona, análoga a la observada en la simulación del escenario asociado a un estiaje severo.

Por otro lado, al analizar la envolvente de valores máximos de la concentración de clorofila *a*, en el gráfico correspondiente se aprecia que, en el tramo comprendido entre la EDAR y la incorporación del río Arakil, el estado trófico empeora respecto al que existe en la Situación Actual, debido a una pérdida de dilución respecto a dicha situación.

4.2. Incremento del caudal en cabecera

Entre las actuaciones capaces de mejorar la calidad del agua en la cabecera del tramo de estudio y el elevado tiempo de recorrido del flujo se encuentra la consistente en realizar un aporte adicional de caudal en la mencionada cabecera del tramo de estudio, sin carga contaminante. La alternativa básica que se ha considerado al respecto ha sido la de que dicha aportación adicional provenga del embalse de Eugi, aprovechando el efecto regulador del mismo.

Desde un punto de vista práctico, tratando de abarcar un rango muy amplio, se han seleccionado tres valores diferentes del caudal total en la cabecera del tramo de estudio, que se han cifrado en 3.00 m³/s, 5.00 m³/s y 8.00 m³/s, lo cual equivale a considerar unos caudales adicionales de 1.77 m³/s, 3.77 m³/s y 6.77 m³/s, respectivamente.

Las leyes de caudales y concentraciones de cargas contaminantes consideradas en la incorporación del río Arakil han sido las mismas que las utilizadas en la simulación de la Situación Actual en régimen no permanente. Otro tanto ocurre con los parámetros que intervienen en las reacciones implicadas en los procesos a los que se ven sometidas las diferentes variables de estado en el modelo WASP.

En la figura 4.3 se presenta un resumen de los resultados obtenidos en las diferentes simulaciones efectuadas, junto con los correspondientes a la Situación Actual. Como cabía esperar, conforme aumenta la incorporación de caudal adicional, sin carga contaminante, en la cabecera del tramo de estudio, se produce una mayor dilución, con la consiguiente mejora de la calidad del agua del río, si bien, dicha mejora no afecta por igual a todas las variables de estado ni a todo el tramo de estudio.

Así, la incorporación de un caudal adicional de 1.77 m³/s, sin carga contaminante, en la cabecera del tramo de estudio, permite alcanzar un estado muy bueno en la mayor parte del tramo de estudio, salvo en la zona afectada por los remansos de los azudes, en donde tan sólo se llega a alcanzar el estado bueno, debido a la baja concentración de oxígeno disuelto.

Al valorar la calidad del agua del río desde el punto de vista trófico, el análisis del gráfico correspondiente, junto con los rangos de variación indicados en la tabla 3.7, pone de manifiesto la necesidad de aumentar el caudal total en cabecera hasta un valor de 8.0

m³/s, para conseguir una mejora notable de la situación, como se aprecia con claridad en dicho gráfico, no superándose el estado eutrófico en ningún punto del tramo de estudio.

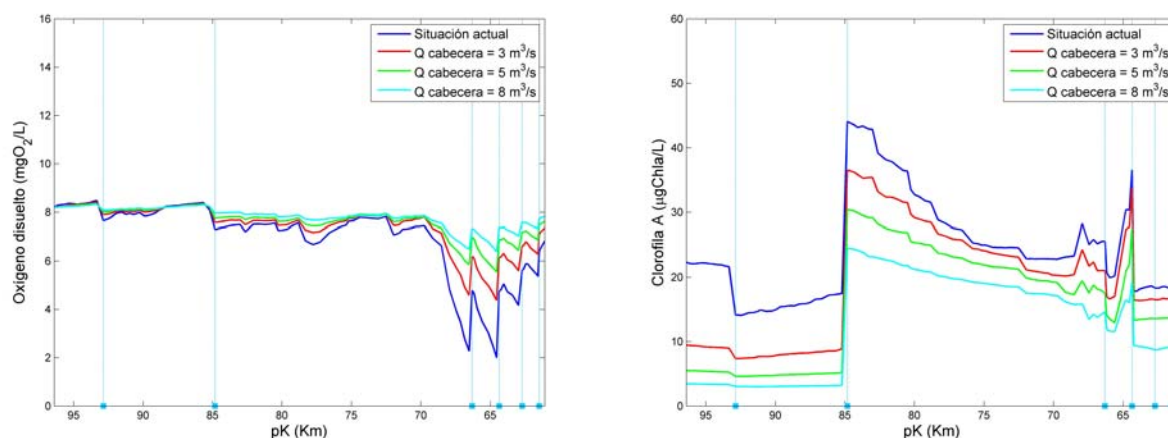


Figura 4.3. Envolventes de las concentraciones de oxígeno disuelto y clorofila a, para diferentes caudales en la cabecera del tramo de estudio.

4.3. Eliminación de azudes en el tramo de estudio

Para la modelización de este escenario de cálculo se han eliminado los 4 azudes que se encuentran actualmente en explotación en la parte final del tramo objeto de estudio. En cierta manera, puede considerarse como una alternativa bastante irreal, habida cuenta de las concesiones administrativas existentes, que se ven reforzadas incluso con la construcción de un nuevo azud.

Las modificaciones efectuadas en la modelización se refieren casi exclusivamente a la caracterización geométrica. En este sentido, hay que precisar que no sólo se han eliminado los azudes, sino también las acumulaciones de sedimentos que se han ido produciendo aguas arriba de ellos con el paso del tiempo, tratando de reflejar la pendiente original del cauce.

La eliminación de los azudes da lugar a una casi total ausencia de perfiles transversales con calados superiores a 1.5 m. y a una reducción muy importante del tiempo de recorrido del flujo, que se ha cifrado en un 75 % respecto al valor correspondiente a la Situación Actual. Por otro lado, desde un punto de vista general, hay que precisar que, a la vista de las modificaciones efectuadas, las variaciones en los resultados del modelo de calidad sólo se producen a partir del PK 70.860,00.

En la figura 4.4 se presenta un resumen de los resultados obtenidos en la misma, junto con los correspondientes a la Situación Actual, facilitando así el análisis comparativo. Analizando el contenido de los gráficos incluidos en dicha figura, se aprecia que la principal repercusión que tiene la eliminación de los azudes es la de hacer desaparecer los problemas que se presentan en la Situación Actual por la baja concentración de oxígeno

disuelto en el tramo final de la zona objeto de estudio. Ello es debido a la anulación de la demanda de oxígeno desde el fondo en dicha zona.

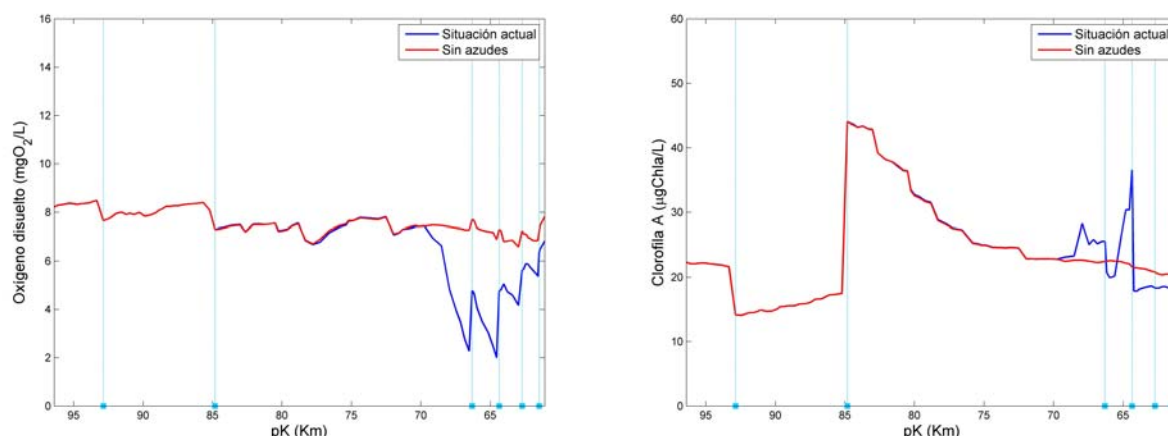


Figura 4.4. Envolventes de las concentraciones de oxígeno disuelto y clorofila *a*, en la situación resultante de eliminar los azudes en explotación.

Otro aspecto a destacar es el relativo a la variación de la concentración de clorofila *a*. Como puede verse en el gráfico correspondiente, aunque la concentración máxima de clorofila se reduce apreciablemente en la zona de localización de los azudes, siguen existiendo niveles muy altos aguas abajo de la incorporación del caudal procedente del río Arakil.

4.4. Reducción de la carga contaminante del río Arakil

Teniendo en cuenta algunas de las conclusiones derivadas del Diagnóstico de la Situación Actual, se ha contemplado la posibilidad de llevar a cabo actuaciones encaminadas a mejorar la calidad del agua del río Arakil antes de su incorporación al río Argá. Dicha mejora supone, como mínimo, igualar los valores de concentración que las distintas variables implicadas tienen en el canal de derivación de la central de Etxauri a los valores registrados en la cabecera del tramo de estudio para la Situación Actual. No se descarta, no obstante, alcanzar un mayor grado de depuración.

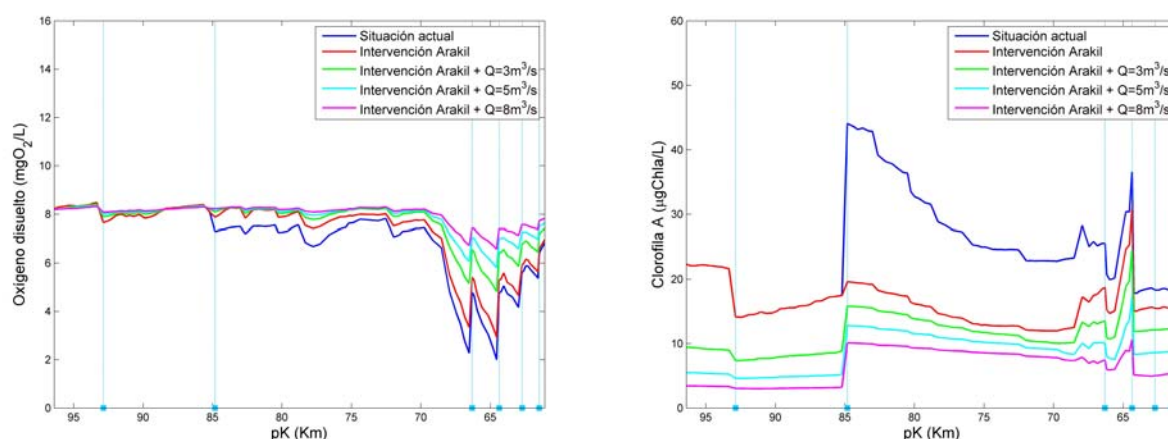
Los resultados obtenidos tras la simulación correspondiente, que se muestran más adelante, han puesto de manifiesto una reducción muy importante en la máxima concentración de clorofila *a* A en el tramo situado aguas abajo de la incorporación del río Arakil, si bien siguen existiendo valores bastante altos en los remansos de algunos azudes.

Ello ha sugerido la conveniencia de analizar la influencia que podría tener la simultaneidad de la depuración del río Arakil con algunas de las actuaciones indicadas anteriormente. En este sentido, se han considerado dos alternativas: combinar la depuración del río Arakil con un incremento del caudal en cabecera o con la eliminación de los azudes en explotación. Los diferentes escenarios considerados se resumen en la tabla 4.1.

		Escenarios				
		A	B	C	D	E
Modificaciones sobre Situación Actual	Mejora Arakil	X	X	X	X	X
	$Q_{\text{cabecera}} = 3 \text{ m}^3/\text{s}$		X			
	$Q_{\text{cabecera}} = 5 \text{ m}^3/\text{s}$			X		
	$Q_{\text{cabecera}} = 8 \text{ m}^3/\text{s}$				X	
	Eliminación azudes					X

Tabla 4.1. Escenarios que contemplan, de forma individual o combinada, la depuración del río Arakil

En la figura 4.5 se presentan, entre otros, los resultados obtenidos en los escenarios de cálculo correspondientes a la primera de las dos alternativas mencionadas. Se incluyen también los resultados obtenidos al considerar únicamente la depuración del río Arakil y los correspondientes a la Situación Actual, que se han utilizado como referencia a la hora de valorar la mejora obtenida con las diferentes actuaciones.


 Figura 4.5. Envoltentes de las concentraciones de oxígeno disuelto y clorofila *a*, con depuración del río Arakil y diferentes caudales en la cabecera del río Argá.

Al analizar el contenido de los gráficos incluidos en la citada figura, se constata, por una parte, que la reducción de la carga contaminante aportada por el río Arakil, considerada de manera individualizada, produce una mejora apreciable en una longitud importante del río Argá aguas abajo de Etxauri. No obstante, dicha mejora es muy poco significativa en la zona afectada por los remansos de los azudes, sobre todo en lo que hace referencia a la concentración mínima de oxígeno disuelto y a la concentración máxima de clorofila *a*.

Estos dos últimos aspectos sí mejoran notablemente cuando a la actuación anterior se le añade un incremento de caudal en la cabecera del tramo de estudio. Dicha mejora es tanto mayor cuanto mayor es el caudal total en la cabecera del tramo de estudio.

Por otro lado, los resultados de la simulación de la segunda de las alternativas de combinación consideradas se muestran en los gráficos de la figura 4.6, junto con los de la Situación Actual y los correspondientes a la depuración del río Arakil, considerada de manera individualizada. La comparación entre los mismos permite valorar la repercusión de cada actuación por separado o de manera sucesiva.

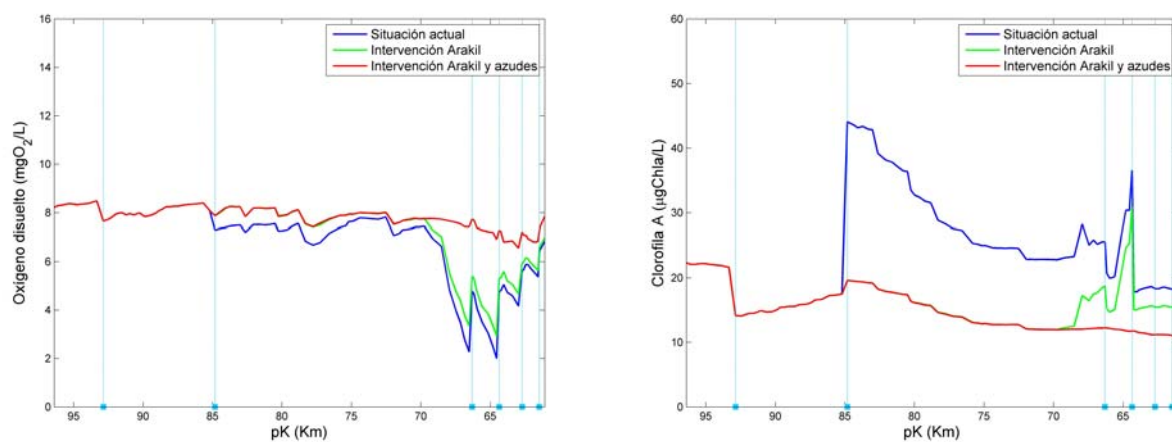


Figura 4.6. Envolventes de las concentraciones de oxígeno disuelto y clorofila *a*, con depuración del río Arakil y sin azudes.

5. CONCLUSIONES

Los resultados de las medidas efectuadas durante la campaña específica de calidad llevada a cabo durante el mes de agosto de 2010, en una serie de puntos concretos, junto con los resultados de las simulaciones llevadas a cabo, en régimen permanente y no permanente, que proporcionan información sobre perfiles longitudinales de variación de diferentes variables de estado, a lo largo del tramo de estudio, permiten afirmar que este último, en la Situación Actual, en condiciones de estiaje, presenta problemas de calidad, que lo alejan del objetivo del buen estado ecológico fijado por la DMA.

Es interesante resaltar que el efluente de la EDAR no es la causa principal de los problemas que presenta la calidad del agua. De hecho, los impactos más notables se producen por la incorporación del río Arakil y por la existencia de los azudes, que favorecen procesos de eutrofización.

Con el fin de mejorar la calidad de agua en el tramo de estudio, se han planteado una serie de actuaciones, cuyas características y resultados se han expuesto en el apartado anterior. Tras el análisis comparativo de dichos resultados con los correspondientes a la Situación Actual, se deduce que:

- La reducción de las cargas de nutrientes aportadas por la EDAR se traduce en una limitación en el crecimiento del fitoplancton aguas abajo de la incorporación del río Arakil, especialmente en la zona de ubicación de los azudes. No obstante, las pequeñas variaciones que se producen no consiguen una mejora significativa de la calidad del agua respecto a la Situación Actual, aún en el caso de eliminar totalmente las cargas contaminantes del vertido, manteniendo inalterado su caudal.
- La eliminación del vertido de la EDAR modifica el régimen de caudales circulantes por el río aguas abajo de la misma. Ello da lugar a una disminución importante de los valores mínimos de la concentración de oxígeno disuelto en los remansos de los azudes, anulándose en algunos puntos. En el tramo comprendido entre la EDAR y la incorporación del río Arakil, el estado trófico empeora respecto al que existe en la Situación Actual, con concentraciones de clorofila *a* del orden de 20 $\mu\text{g/l}$, debido a una pérdida de dilución respecto a dicha situación.
- La incorporación de un caudal adicional de 1.77 m^3/s , sin carga contaminante, en la cabecera del tramo de estudio, permite alcanzar un estado muy bueno en la mayor parte del tramo de estudio, salvo en la zona afectada por los remansos de los azudes, en donde tan sólo se llega a alcanzar el estado bueno, debido a la baja concentración de oxígeno disuelto, con concentraciones comprendidas entre 5 y 6 mg/l .
- Para conseguir mejorar notablemente la situación en dicha zona, manteniendo la concentración de clorofila *a* por debajo de 25 $\mu\text{g/l}$, sería necesario incorporar un caudal adicional del orden de 7 m^3/s , lo cual resulta inviable, en principio, teniendo en cuenta las limitaciones del embalse de Eugi, según la información facilitada por la Mancomunidad de la Comarca de Pamplona.

- Los efectos que tienen la eliminación de los azudes en la calidad del agua del río en el tramo objeto de estudio se dejan sentir tan sólo en la parte final del mismo, y se traducen en un aumento significativo del oxígeno disuelto, alcanzándose concentraciones del orden de 7 mg/l.
- La eliminación de los azudes da lugar también a una reducción apreciable de la concentración de clorofila en la zona de ubicación actual de los mismos, con concentraciones ligeramente inferiores a 25 $\mu\text{g/l}$. No obstante, siguen manteniéndose niveles muy altos, del orden de 45 $\mu\text{g/l}$, aguas abajo de la incorporación del caudal procedente del río Arakil.
- La mera reducción de la carga contaminante del río Arakil, considerada de manera aislada, proporciona una mejora muy importante de la calidad del agua del río Argá aguas abajo de la confluencia de ambos, con una concentración de clorofila *a* inferior a 20 $\mu\text{g/l}$. Dicha mejora es mucho menos significativa en la zona afectada por los remansos de los azudes, sobre todo en lo que hace referencia a la concentración mínima de oxígeno disuelto y a la concentración máxima de clorofila *a*, ya que se siguen alcanzando valores del orden de 3-4 mg/l y 35 $\mu\text{g/l}$, respectivamente.
- De los resultados obtenidos en las diferentes simulaciones se deduce que, al combinar la reducción de la carga contaminante del río Arakil con la eliminación de los azudes, se alcanza un gran nivel de mejora, con concentraciones de OD superiores a 7 mg/l y concentraciones de clorofila *a* inferiores a 15 mg/l aguas abajo de la EDAR.
- Al combinar la depuración del río Arakil con la incorporación de caudal adicional en la cabecera del tramo de estudio, se obtienen también mejoras importantes, tanto mayores cuanto mayor es el caudal adicional aportado, siendo interesante resaltar, en este sentido, las limitaciones relativas a la capacidad de regulación del embalse de Eugi, a las que se ha hecho referencia anteriormente.

La valoración del estado trófico se ha basado en unos criterios utilizados por la OCDE. Admitiendo que las concentraciones medias anuales puedan ser inferiores a las resultantes de la simulación, el criterio adoptado resulta conservador, es decir, refleja un estado trófico más desfavorable que el representativo de la situación media anual.

A modo de resumen, cabe señalar que, de las diferentes alternativas de mejora consideradas, la más eficaz es la que contempla, entre otras actuaciones posibles, combinadas o no, la reducción de la carga contaminante del río Arakil, permitiendo alcanzar un estado mesotrófico aguas abajo de dicha incorporación. Para valorar la viabilidad de la misma sería necesario realizar un estudio específico de la calidad del agua en el citado río.