

TRABAJO FINAL DE GRADO (TFG)



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Titulación: Grado en Ingeniería Civil

Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (UPV)

Título:

“Restauración y adecuación ambiental de ríos y zonas húmedas. Aplicación al efecto de los azudes en el alto Turia entre Teruel y Benagéber.”

-Memoria-

Curso académico 2015/2016

Autor: Baselga Nicolau, Manuel

Tutor: Estrela Monreal, Teodoro

Cotutor: Pérez Martín, Miguel Ángel

Valencia, junio de 2016

Índice.

nº pág.

1. Introducción y objetivos.....	5
2. Localización.....	7
3. Antecedentes.....	14
3.1. Plan Hidrológico de cuenca 2015-2021.....	14
3.2. Protocolo de caracterización hidromorfológica de masas de agua de la categoría ríos.....	23
3.3. Estrategia Nacional de Restauración de Ríos (ENRR).....	24
3.4. Guía Técnica para la caracterización de medidas del CEDEX.....	25
4. Metodología.....	27
5. Aplicación.....	29
5.1. Análisis técnico.....	29
5.1.1. Caracterización de la continuidad del río con el protocolo.....	29
5.1.1.1. Caracterización de los obstáculos y condiciones de paso.....	31
5.1.1.2. Cálculo del índice del efecto barrera (IF).....	32
5.1.1.3. Cálculo del índice de compartimentación (IC) de las masas de agua.....	34
5.1.1.4. Cálculo del coeficiente de prioridad de las especies piscícolas ($\sum Ki$).....	35
5.1.1.5. Cálculo del índice de conectividad longitudinal (ICL).....	37
5.1.2. Problemas, soluciones y cuantificación de la mejora.....	38
5.1.3. Efectividad de las medidas.....	44
5.2. Análisis económico.....	46
5.2.1. Comparación presupuestaria ENRR – CEDEX.....	46
5.2.2. Coste de las actuaciones.....	58
5.3. Catálogo de azudes.....	64
5.4. Relación coste-eficacia de las actuaciones.....	72
5.5. Análisis de especies en el Turia y afluentes. Estudio del IBI.....	77
6. Propuesta de actuación.....	81
6.1. Fase 1.....	83
6.2. Fase 2.....	85
6.3. Fase 3.....	86
7. Conclusiones.....	87
8. Líneas futuras.....	89
9. Referencias.....	90

1. Introducción y objetivos.

Este trabajo se lleva a cabo basándose en la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos (ENRR), un proyecto novedoso propuesto por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino a través del Programa A.G.U.A.

Siguiendo estas directrices y las exigencias obligatorias para España de la Directiva Marco del Agua, en el marco de la ENRR, se ha seleccionado el tramo del río Turia entre Teruel y el Embalse de Benagéber.

Para la elección de este tramo se ha tenido en cuenta el Segundo Ciclo de Planificación Hidrológica 2015 – 2021, cuyo Plan Hidrológico del Júcar 2015 – 2021 clasifica algunas de las masas del alto Turia como que no están en buen estado ecológico, siendo una zona en la cual las medidas son prioritarias.

Entre los trabajos específicos de interés para la planificación hidrológica destacan la mejora del conocimiento del acuífero de la Mancha Oriental, la mejora del conocimiento de las aguas subterráneas, el régimen de caudales ecológicos en masas de agua superficiales y el programa de medidas, siendo éste último el ámbito del presente trabajo.

Además, para la correcta aplicación de métodos, tratamientos, normativas, etc., se ha seguido la guía “Restauración de Ríos. Guía Metodológica para la elaboración de proyectos”, realizada por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino y la Universidad Politécnica de Madrid, así como la “Guía Técnica para la caracterización de medidas”, reseñadas en la Instrucción de Planificación Hidrológica, aprobada por Orden ARM/2656/2008 para la correcta aplicación del cumplimiento de objetivos establecidos para los planes de cuenca.

A su vez, se ha seguido el Protocolo de Caracterización Hidromorfológica de Masas de Agua de la Categoría Ríos, de diciembre de 2015, cuyo documento recoge una serie de protocolos de muestreo, laboratorio y cálculo de métricas e índices para su uso en los programas de seguimiento del estado de las masas de agua (ríos, lagos y embalses), además de la clasificación del estado ecológico.

El objetivo es la recuperación de las masas fluviales a través de la naturalización, el buen estado ecológico aumentando la calidad biológica del agua y hacer compatibles los usos y las actuaciones administrativas con el mantenimiento de los valores naturales del río Turia.

Estos objetivos se pretenden conseguir a través de la recuperación de la fauna piscícola autóctona, así como su mejora y facilitación de su movilidad, disminuyendo los efectos negativos de los azudes (efecto barrera y efecto remanso).

Las problemáticas principales que se presentan tras el estudio del tramo del río Turia objeto de estudio son las siguientes:

- Ocupación de las riberas para uso agrícola y cultivo de cereal.
- Alto grado de erosión de las orillas.
- Mezcla de vegetación autóctona y alóctona.
- Existencia de 15 azudes infranqueables que impiden la continuidad longitudinal de la fauna piscícola. Todos ellos destinados para riego y en activo.

En este trabajo nos centraremos únicamente en este último aspecto: el análisis de cada uno de los 15 azudes por separado y en su conjunto, sus características y sus efectos.

Estas estructuras transversales suponen una discontinuidad en el río y producen efectos negativos en los ecosistemas, especialmente en los desplazamientos migratorios de la fauna piscícola. Por esta razón es necesario un estudio de la continuidad fluvial para tratar de solucionar este impacto negativo.

Según estudios realizados en los principales ríos de la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ), reunidos en la publicación “Bases para un Plan de Conservación de Riberas de la Confederación Hidrográfica del Júcar”, el 42% aproximadamente del río Turia (en toda su longitud) tiene en peor estado la calidad del bosque de ribera (QBR).

Mediante este análisis y posible actuación sobre los 15 azudes se persiguen unos objetivos para mejorar el estado ecológico y natural de este tramo en concreto, entre los que destacan:

- Mejora y facilitación de la movilidad de la fauna piscícola.
- Mejora y naturalización de la dinámica fluvial.
- Aumento de la calidad biológica del agua.
- Disminución de los efectos negativos (barrera y remanso) de los azudes.
- Aumento de la continuidad longitudinal.

2. Localización.

El río Turia (también llamado Guadalaviar en su primer tramo) es un río mediterráneo que nace en la Muela de San Juan, término municipal de Guadalaviar y desemboca en la ciudad de Valencia, recorriendo 280 km.

Sus aportes hídricos provienen fundamentalmente de torrentes y barrancos originados por el deshielo en el nacimiento y las fuertes tormentas en su cuenca hidrográfica, hecho que justifica las grandes diferencias de caudal en las distintas épocas del año.

El tramo objeto de estudio tiene una longitud de 97,7 km, comenzando en la Estación Hidrológica de Teruel y finalizando en el Embalse de Benagéber. A su vez, en este trecho se distinguen 5 masas de agua diferente, de la clasificada como 15.05 a la 15.09, representadas en las figuras siguientes.

En esta zona del río Turia hay una gran densidad de azudes, estructura que se pretende analizar en este trabajo, para ver su efecto en el río y la fauna piscícola.

Estos azudes, junto con las obras de paso (puentes, pasarelas, etc.) están situados en las siguientes figuras, donde podemos observar la localización exacta para cada uno de ellos.

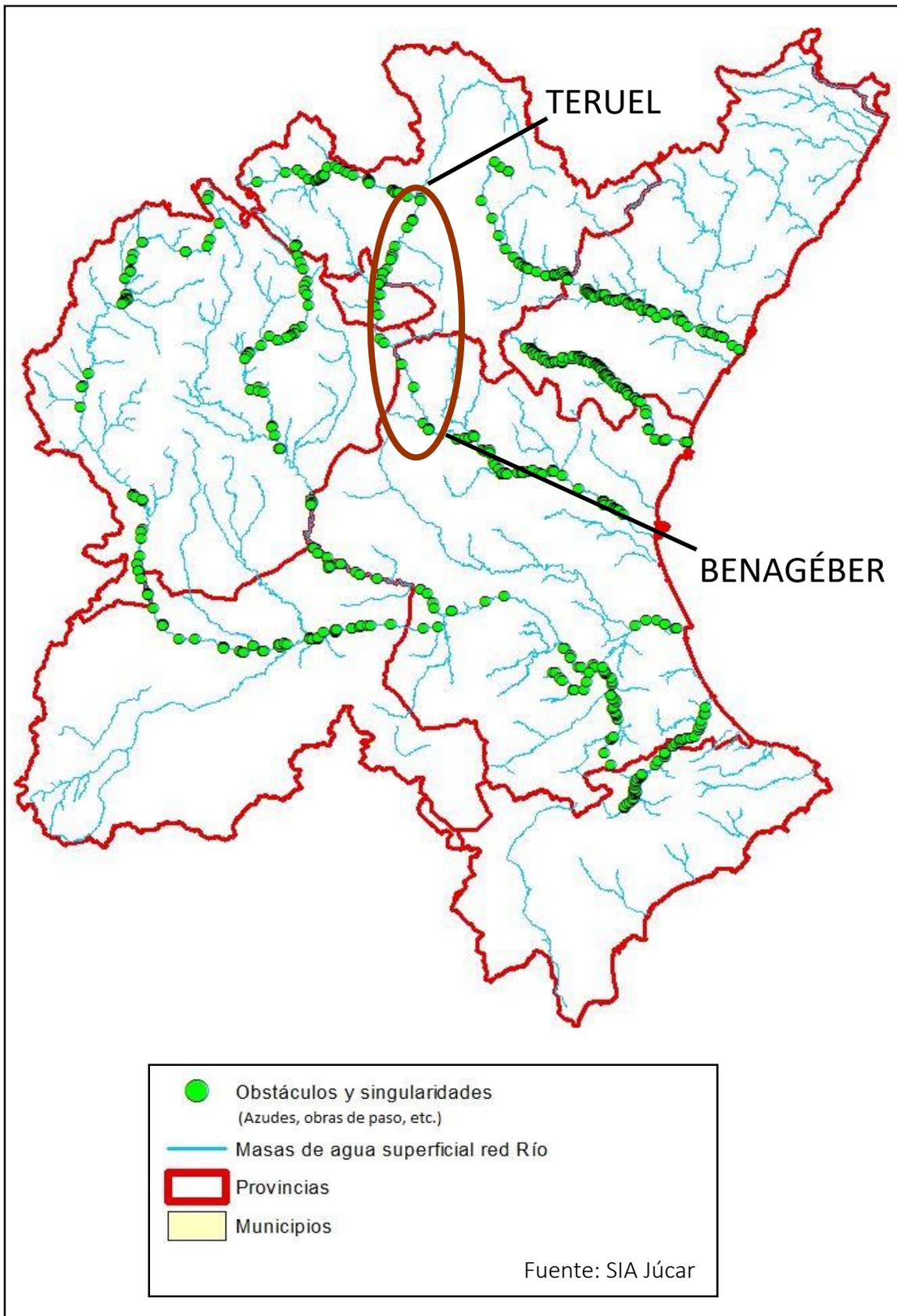


Figura 1. Mapa de la cuenca hidrográfica del Júcar

Ese tramo del río Turia atraviesa los siguientes municipios, divididos por provincias:

- En Teruel: Teruel, Villastar, Villed y Libros.



Figura 2. Mapa de la masa 15.05 del Turia

- En el Rincón de Ademuz: Castielfabib, Torrebaja, Ademuz, Casas Altas y Casas Bajas.
- En Cuenca: Santa Cruz de Moya.

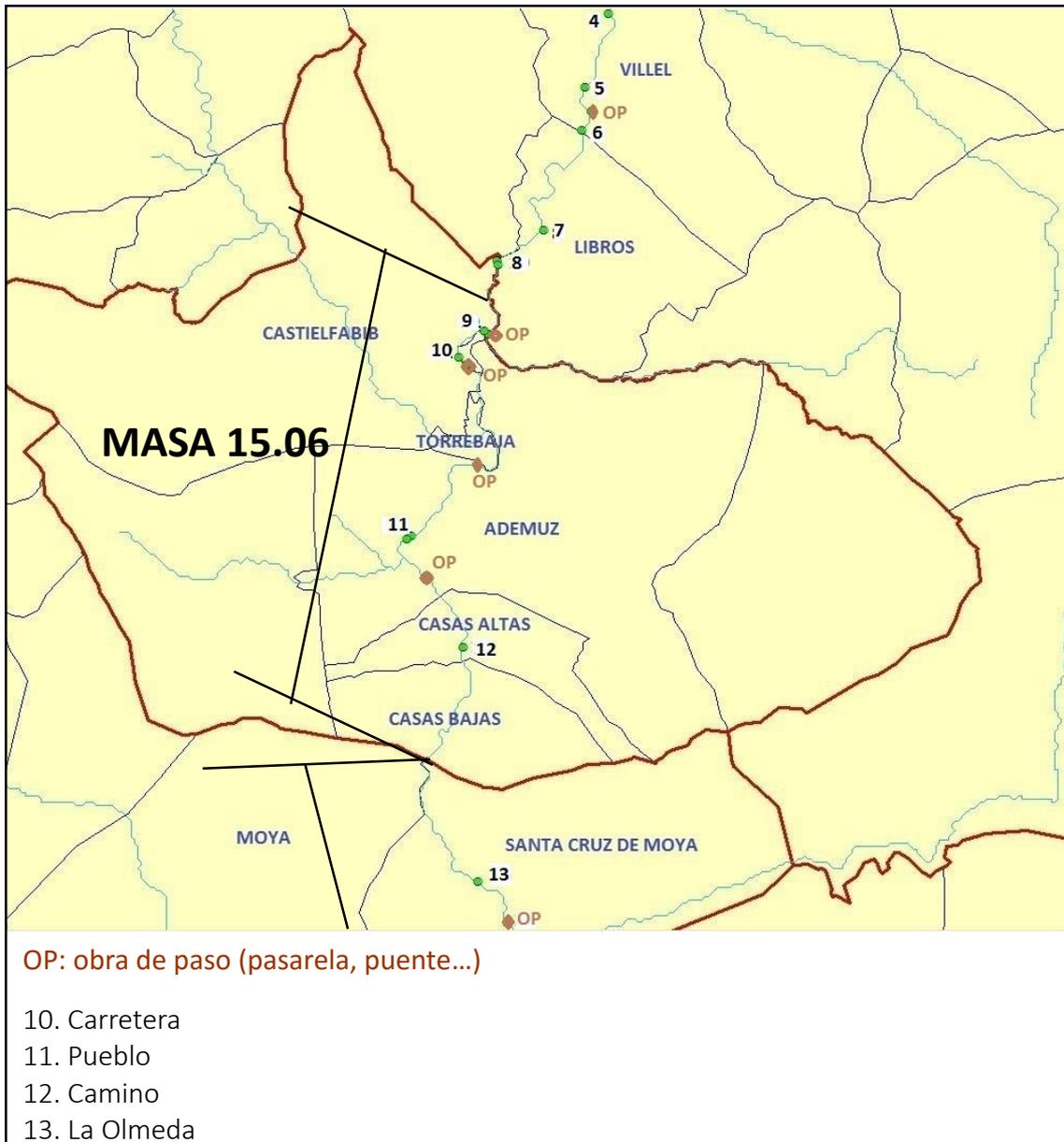


Figura 3. Mapa de la masa 15.06 del Turia

- En Valencia: Aras de los Olmos, Titaguas, Tuéjar y Benagéber.

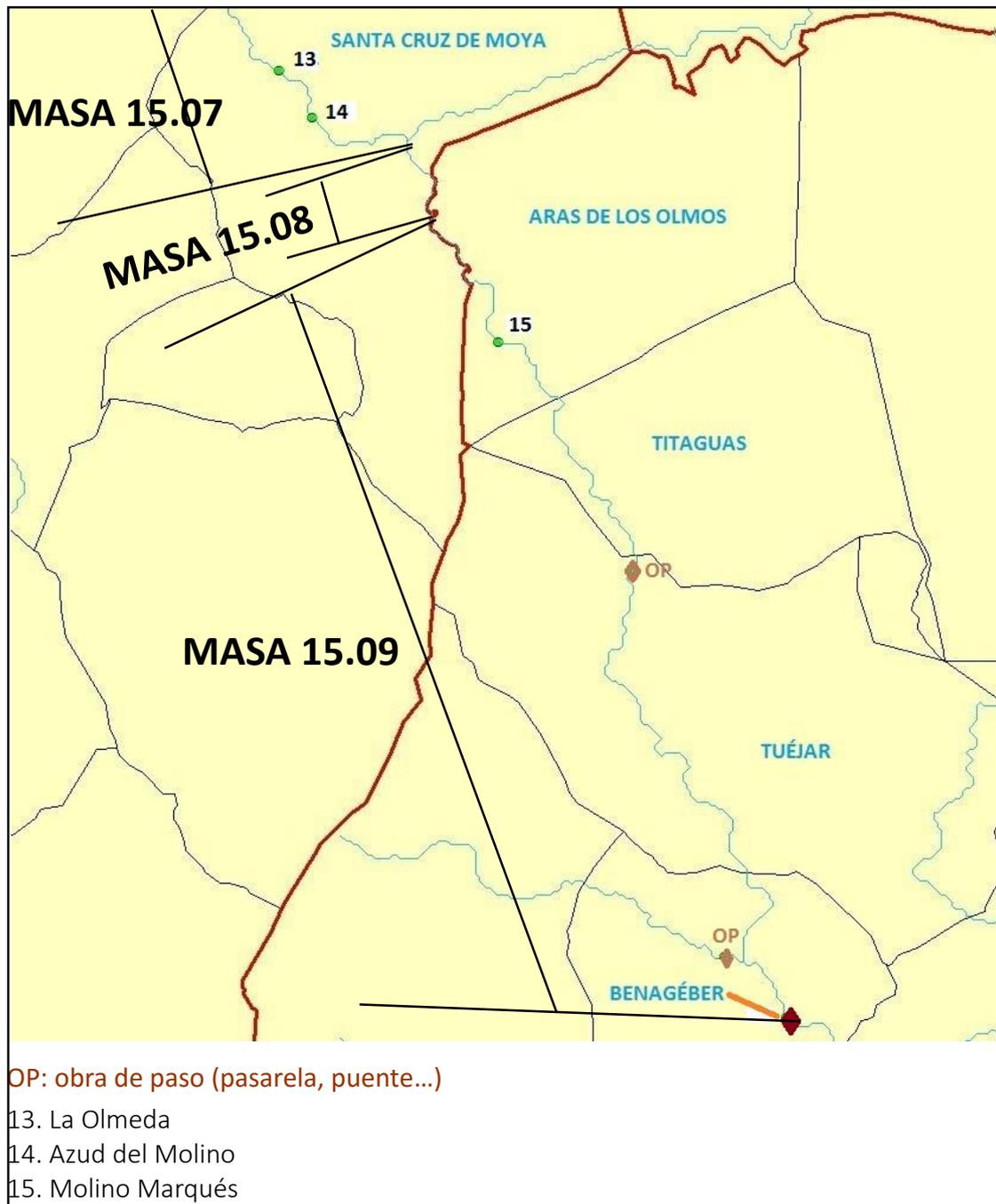


Figura 4. Mapa de las masas 15.07, 15.08 y 15.09

Para tener una herramienta más visual y gráfica con la que poder ver los afluentes del Turia, los azudes, la distancia que los separa y la masa a la que pertenecen, nos podemos fijar en la siguiente figura:

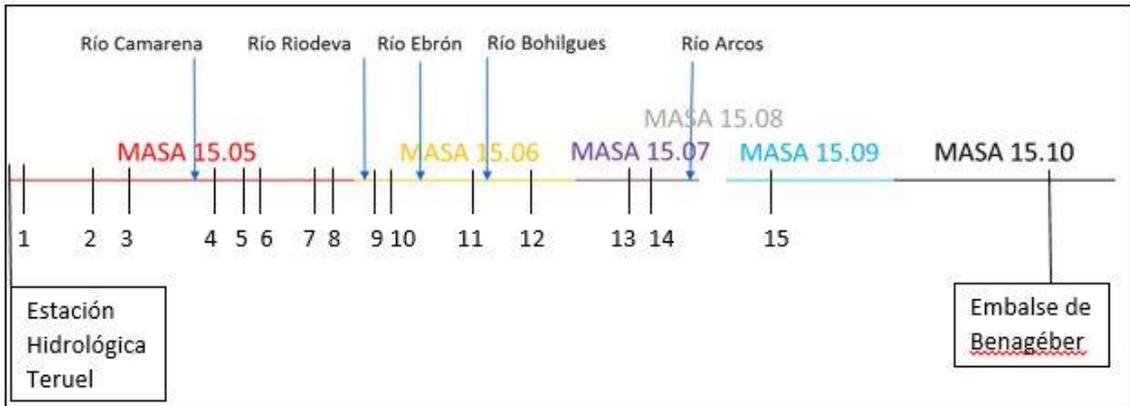


Figura 5. Localización de azudes y masas

AZUDES	<u>DISTANCIA</u> <u>(m)</u>
Inicio: Estación Hidrológica Teruel	
	824
Estación Renfe	
	7.334
Villastar	
	3.137
Villel	
	8.183
El Campo	
	2.789
El Campo 2	
	1.626
Libros	
	5.132
Rambla de Libros	
	1.797
Puente Riodeva	
	2.711
Rambla San Sebastián	
	1.375
Carretera	
	8.743
Pueblo	
	4.939

AZUDES	DISTANCIA (m)
Camino	9.859
La Olmeda	1.986
Azud del Molino	11.338
Molino Marqués	26.000
Final: Embalse de Benagéber	

Tabla 1. Distancia entre azudes

El perfil longitudinal del río Turia en este tramo es el siguiente:

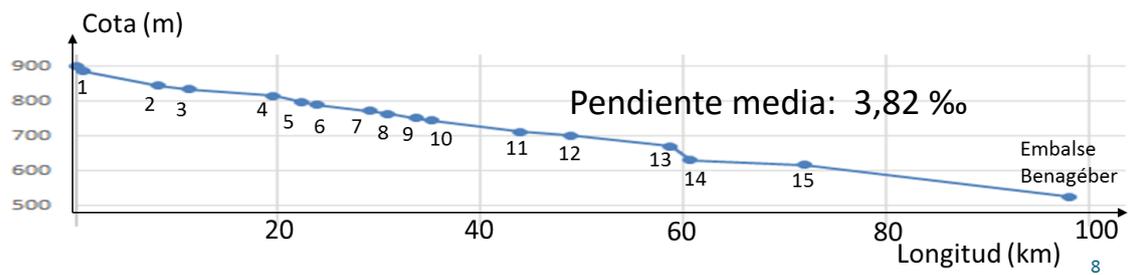


Figura 6. Perfil longitudinal del tramo del río Turia estudiado

3. Antecedentes.

3.1. Plan Hidrológico de cuenca 2015-2021.

La planificación hidrológica es un requerimiento legal establecido con los objetivos generales de conseguir el buen estado y la adecuada protección de las masas de agua de la Demarcación, responder satisfactoriamente a las demandas de agua y mantener el equilibrio y armonización del desarrollo regional y sectorial.

Estos objetivos deben alcanzarse mediante el uso razonable y eficiente de los recursos, conservando la calidad y racionalizando su empleo en armonía con el medio ambiente y otros recursos naturales.

Para la consecución de los objetivos finales, la planificación hidrológica se guía por ciertos criterios de sostenibilidad y protección y prevención, a la vez que contribuye a paliar los efectos de las inundaciones y sequías.

Los objetivos marcados por este plan vienen definidos por el marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas, llamada Directiva Marco del Agua (DMA), de forma que la planificación hidrológica ha ampliado su concepto para recoger el enfoque y los contenidos de la DMA, desarrollados en tres ejes: sostenibilidad ambiental, racionalidad económica y transparencia y participación social.

Para el seguimiento y revisión del plan hidrológico, así como la facilitación del suministro de información y la participación ciudadana en la planificación, se ha elaborado el Sistema de Información del Agua de la Confederación Hidrográfica del Júcar (S.I.A. Júcar) que incluye una web de descarga y visualización de datos y cartografía.

En primer lugar, debemos tener en cuenta los datos previos respecto de la geometría y los valores y efectos del tramo de río Turia en estudio obtenidos del S.I.A. Júcar.

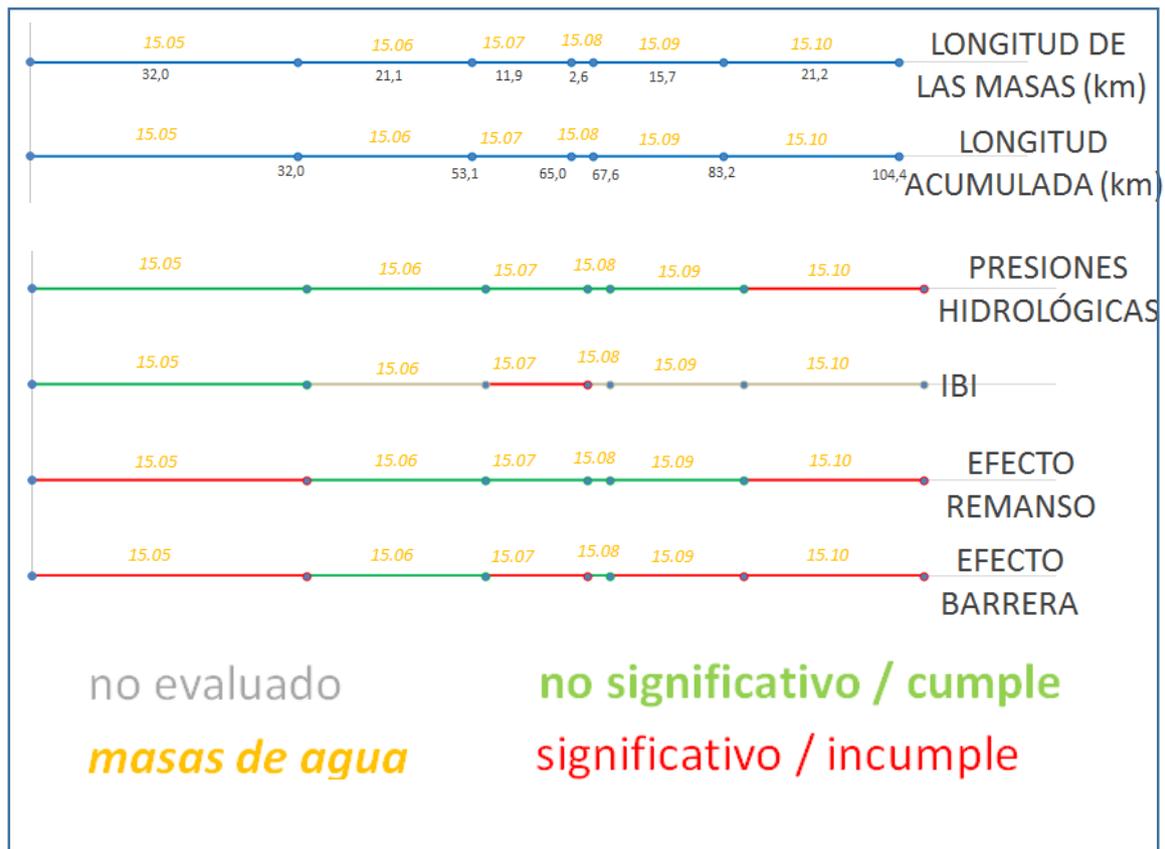


Figura 7. Caracterización de las masas de agua

Así podemos observar de una manera rápida, las masas de agua en las que se divide este tramo del río y los efectos y valores significativos, no significativos y no evaluados.

El efecto barrera se refiere a la franqueabilidad de la masa a través de la franqueabilidad de los azudes que se encuentran en ella. Para ello, se dispone de las especies piscícolas autóctonas de la masa y se evalúa su capacidad de salto con respecto a la altura de los azudes.

El efecto remanso de las masas estima los remansos producidos por cada azud aguas arriba del mismo y mide su importancia en función de su longitud y la posible superposición de remansos.

Las presiones hidrológicas representan la importancia relativa del conjunto de distintas presiones que se evalúan en los ríos.

El Índice de Integridad Biótica (I.B.I.) tasa cuantitativamente los cambios en la composición de las comunidades biológicas y refleja con precisión la complejidad ecológica del análisis estadístico. Es la herramienta más precisa que existe para identificar los impactos sistémicos sobre la integridad de los sistemas biológicos y cada vez es más utilizado en la identificación del deterioro para la recuperación de aguas afectadas. El IBI captura el impacto neto integrado en la estructura de una comunidad biológica.

Yendo masa a masa, se aprecia que la masa 15.05 (32,0 km), aun teniendo un efecto remanso y efecto barrera significativos debido a la gran densidad de azudes, tiene un

índice de integridad biótica (IBI) y unas presiones hidrológicas dentro de los rangos aceptables.

La masa 15.06 (21,1 km) tiene unos valores de presiones, efecto barrera y remanso que cumplen los mínimos y máximos aceptados. En cambio, su valor de IBI no está evaluado. Como hemos visto en la masa 15.05, no puede apreciarse una correlación entre medidas, por tanto, que los valores de la masa 15.06 sean correctos no significa que el IBI (no evaluado) también lo sea.

La masa 15.07 dispone de varios azudes para lo corta que es (11,9 km), siendo su efecto barrera significativo, pero no así su efecto remanso, esto puede ser debido a que la pendiente del río aún es bastante grande o que la altura de los azudes es lo suficientemente considerable para impedir el paso de la fauna piscícola, pero no para producir un efecto remanso significativo.

Su valor de IBI no llega al mínimo, mientras que su presión hidrológica no es significativa.

En la masa 15.08 (2,6 km) no hay ningún azud, por lo que no existe efecto barrera ni efecto remanso. El IBI no está evaluado y la presión hidrológica es correcta.

En la masa 15.09 (15,7 km) tan sólo hay un azud, por lo que el efecto remanso no es significativo, pero sí lo es el efecto barrera debido al gran tamaño del azud, que resulta ser infranqueable. El IBI no está evaluado y la presión hidrológica es correcta.

La masa 15.10 (21,2 km) se encuentra fuera del presente estudio, ya que simplemente se ha añadido porque es donde se encuentra el Embalse de Benagéber. Por esta razón, todos los valores medidos son significativos, menos el IBI, que no ha sido evaluado.

Ahora veamos la evolución de las características del río a lo largo de tramo por separado:

Las presiones hidrológicas se encuentran dentro de los valores óptimos a lo largo de todo el tramo, menos en la parte final, dado que se encuentra el Embalse de Benagéber.

El problema principal en cuanto al IBI es que no se dispone de algunos datos, hecho debido a que el IBI se mide a través de unas estaciones en las que se realiza un conteo de la fauna piscícola. Estas estaciones sólo existen en las masas 15.05 y 15.07 dando resultados aceptables e inaceptables respectivamente. Aunque falten muchos datos en este ámbito, resulta evidente que debe haber cierta continuidad del IBI, por lo que parece que los datos del IBI vayan empeorando conforme el río va transcurriendo, yendo de aguas arriba a aguas abajo.

Por lo que respecta al efecto barrera y efecto remanso, no tiene porqué existir una correlación o continuidad con las masas anteriores y/o posteriores. Estos efectos se miden según el número de azudes pertenecientes a cada masa y su afección a la misma. Lo que parece obvio es la significatividad de ambos efectos en la masa 15.10 debido al Embalse de Benagéber.

Por tanto, los problemas principales vistos hasta ahora son:

- Gran efecto barrera significativo en prácticamente todo el tramo.
- Falta de valores de IBI en muchas masas.

Además de estos datos y efectos, que son los más relevantes para la finalidad del trabajo, existen valores de otras propiedades y características de las masas de agua, como vemos a continuación.

MASA 15.05	
Campo	Valor
Áridos	Significativa
Código Masa	15.05
Efecto Barrera	Significativa
Efecto Remanso	Significativa
Encauzamiento	No Significativa
Especies Alóctonas	Significativa
Extracción	No Significativa
FID	296
P.Global Difusa	No Significativa
P.Global Hidrológica	No Significativa
P.Global Morfológica	Significativa
P.Global.Otras Presiones	Significativa
P.Global Puntual	Significativa
Masa Agua Superficial	Río Turia: Río Alfambra - Rbla. Matanza
Navegación a Motor	No Significativa
OBJECTID	301
Ocupación Márgenes	Significativa
Otros Usos	No Significativa
Otras Presiones Hidrológicas	No Significativa
Contaminación Sedimentos	No Significativa
Shape	Polilínea
Shape Length (m)	32009,01406
Uso Ganadero	No Significativa
Usos Forestales	Significativa
Usos Suelo	No Significativa
Vertederos	No Significativa
Vertidos	Significativa
Vertidos Industriales	Significativa
Vertidos Orgánicos	Significativa
Vertidos Piscifactoría	No Significativa

Tabla 2. Características masa 15.05

MASA 15.06	
Campo	Valor

Áridos	No Significativa
Código Masa	15.06
Efecto Barrera	No Significativa
Efecto Remanso	No Significativa
Encauzamiento	No Significativa
Especies Alóctonas	Significativa
Extracción	No Significativa
FID	298
P.Global Difusa	No Significativa
P.Global Hidrológica	No Significativa
P.Global Morfológica	No Significativa
P.Global.Otras Presiones	Significativa
P.Global Puntual	Significativa
Masa Agua Superficial	Río Turia: Rbla. Matanza - Rbla. Barrancón
Navegación a Motor	No Significativa
OBJECTID	303
Ocupación Márgenes	Significativa
Otros Usos	No Significativa
Otras Presiones Hidrológicas	No Significativa
Contaminación Sedimentos	No Significativa
Shape	Polilínea
Shape Length (m)	21085,01736
Uso Ganadero	No Significativa
Usos Forestales	No Significativa
Usos Suelo	No Significativa
Vertederos	Significativa
Vertidos	Significativa
Vertidos Industriales	Significativa
Vertidos Orgánicos	Significativa
Vertidos Piscifactoría	No Significativa

Tabla 3. Características masa 15.06

MASA 15.07	
Campo	Valor
Áridos	No Significativa
Código Masa	15.07
Efecto Barrera	Significativa
Efecto Remanso	No Significativa
Encauzamiento	No Significativa
Especies Alóctonas	Significativa
Extracción	No Significativa
FID	74
P.Global Difusa	No Significativa
P.Global Hidrológica	No Significativa
P.Global Morfológica	No Significativa
P.Global.Otras Presiones	Significativa
P.Global Puntual	Significativa
Masa Agua Superficial	Río Turia: Rbla. Barrancón - Río Arcos
Navegación a Motor	No Significativa
OBJECTID	76
Ocupación Márgenes	No Significativa
Otros Usos	No Significativa
Otras Presiones Hidrológicas	No Significativa
Contaminación Sedimentos	No Significativa
Shape	Polilínea
Shape Length (m)	11868,41389
Uso Ganadero	No Significativa
Usos Forestales	No Significativa
Usos Suelo	No Significativa
Vertederos	No Significativa
Vertidos	Significativa
Vertidos Industriales	No Significativa
Vertidos Orgánicos	Significativa
Vertidos Piscifactoría	No Significativa

Tabla 4. Características masa 15.07

MASA 15.08	
Campo	Valor
Áridos	No Significativa
Código Masa	15.08
Efecto Barrera	No Significativa
Efecto Remanso	No Significativa
Encauzamiento	No Significativa
Especies Alóctonas	Significativa
Extracción	No Significativa
FID	76
P.Global Difusa	No Significativa
P.Global Hidrológica	No Significativa
P.Global Morfológica	No Significativa
P.Global.Otras Presiones	Significativa
P.Global Puntual	No Significativa
Masa Agua Superficial	Río Turia: Río Arcos - El Villarejo
Navegación a Motor	No Significativa
OBJECTID	78
Ocupación Márgenes	No Significativa
Otros Usos	No Significativa
Otras Presiones Hidrológicas	No Significativa
Contaminación Sedimentos	No Significativa
Shape	Polilínea
Shape Length (m)	2597,056275
Uso Ganadero	No Significativa
Usos Forestales	No Significativa
Usos Suelo	No Significativa
Vertederos	No Significativa
Vertidos	No Significativa
Vertidos Industriales	No Significativa
Vertidos Orgánicos	No Significativa
Vertidos Piscifactoría	No Significativa

Tabla 5. Características masa 15.08

MASA 15.09	
Campo	Valor
Áridos	No Significativa
Código Masa	15.09
Efecto Barrera	Significativa
Efecto Remanso	No Significativa
Encauzamiento	No Significativa
Especies Alóctonas	Significativa
Extracción	No Significativa
FID	77
P.Global Difusa	Significativa
P.Global Hidrológica	No Significativa
P.Global Morfológica	No Significativa
P.Global.Otras Presiones	Significativa
P.Global Puntual	No Significativa
Masa Agua Superficial	Río Turia: El Villarejo - E. Benagéber
Navegación a Motor	No Significativa
OBJECTID	79
Ocupación Márgenes	No Significativa
Otros Usos	No Significativa
Otras Presiones Hidrológicas	No Significativa
Contaminación Sedimentos	No Significativa
Shape	Polilínea
Shape Length (m)	15685,28137
Uso Ganadero	Significativa
Usos Forestales	No Significativa
Usos Suelo	No Significativa
Vertederos	No Significativa
Vertidos	No Significativa
Vertidos Industriales	No Significativa
Vertidos Orgánicos	No Significativa
Vertidos Piscifactoría	No Significativa

Tabla 6. Características masa 15.09

MASA 15.10	
Campo	Valor
Áridos	No Significativa
Código Masa	15.10
Efecto Barrera	Significativa
Efecto Remanso	Significativa
Encauzamiento	No Significativa
Especies Alóctonas	Significativa
Extracción	No Significativa
FID	78
P.Global Difusa	Significativa
P.Global Hidrológica	Significativa
P.Global Morfológica	Significativa
P.Global.Otras Presiones	Significativa
P.Global Puntual	No Significativa
Masa Agua Superficial	E. Benagéber
Navegación a Motor	No Significativa
OBJECTID	80
Ocupación Márgenes	No Significativa
Otros Usos	No Significativa
Otras Presiones Hidrológicas	Significativa
Contaminación Sedimentos	No Significativa
Shape	Polilínea
Shape Length (m)	21203,65799
Uso Ganadero	Significativa
Usos Forestales	No Significativa
Usos Suelo	No Significativa
Vertederos	No Significativa
Vertidos	No Significativa
Vertidos Industriales	No Significativa
Vertidos Orgánicos	No Significativa
Vertidos Piscifactoría	No Significativa

Tabla 7. Características masa 15.10

3.2. Protocolo de caracterización hidromorfológica de masas de agua de la categoría ríos.

El Protocolo de Caracterización Hidromorfológica de Masas de Agua de la Categoría Ríos, de 2015, es un documento al que pertenece una serie de protocolos de laboratorio, muestreo y cálculo de índices y métricas para su uso en los programas de seguimiento del estado de las masas de agua continentales (lago, ríos y embalses) y en la clasificación del estado ecológico.

El contenido de estos documentos debe ser tenido en cuenta por los Organismos de cuenca en la explotación de las redes oficiales de control del estado y potencial ecológico en las masas de agua superficiales.

Por tanto, este protocolo de muestreo es un elemento básico para la aplicación de lo establecido en la Directiva Marco del Agua y está orientado a la obtención de las variables hidromorfológicas necesarias para la caracterización hidromorfológica de las masas de agua de los ríos, comprendiendo la continuidad de los ríos.

El protocolo se aplica en principio al total de cada una de las masas de agua con estaciones que incluyan elementos de calidad hidromorfológicos, a través de trabajos de campo y bases de datos ya existentes, y posteriormente se seleccionan tramos de muestreo en el terreno.

Estos elementos de calidad hidromorfológica permitirán la diferenciación entre masas de agua en muy buen estado, en buen estado y muy modificadas.

Este protocolo puede aplicarse a una masa de agua concreta o al conjunto de las masas de agua de una cuenca o subcuenca, debiendo realizarse, en este segundo caso, de aguas arriba hacia aguas abajo.

3.3. Estrategia Nacional de Restauración de Río (ENRR).

La Estrategia Nacional de Restauración de Ríos (ENRR) es un novedoso proyecto que persigue recuperar la calidad y naturalidad de las masas fluviales, impulsado por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino a través del programa A.G.U.A., que propone una nueva política hídrica basada en la gestión eficaz y sostenible de los recursos hídricos.

Siguiendo estos objetivos y las exigencias de la Directiva Marco del Agua, aprobada en diciembre de 2000 y de obligado cumplimiento en España, se persigue que los ríos y arroyos recuperen su buen estado ecológico, haciendo compatibles los usos y actuaciones administrativas con la conservación de sus valores naturales.

Para ello, en el marco de la ENRR, se han seleccionado 10 cauces de ríos de la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ) para desarrollar proyectos de restauración. Uno de estos 10 cauces seleccionados se corresponde en parte con el tramo del río Turia de este trabajo, ya que es el circulante entre la ciudad de Teruel y Libros, todo él en la provincia de Teruel.

3.4. Guía Técnica para la caracterización de medidas del CEDEX.

Esta guía recoge las medidas reseñadas en la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH), de aplicación para la consecución de los objetivos establecidos en el plan de cuenca.

En cada medida se pretende mostrar, siempre que su naturaleza lo permita, la información necesaria para que la persona que redacte el plan conozca en qué consiste y pueda estimar sus costes y efectos. Para ello, se describe la relación de complementariedad o incompatibilidad con otras medidas, se muestran las presiones e indicadores sobre los que repercute de entre los presentes en la Instrucción de Planificación Hidrológica, se proponen fórmulas y procedimientos para estimar los costes y la eficacia, y se indica la vida útil que se considera razonable. Aun así, hay medidas cuyo coste, eficacia o ambas no puede cuantificarse, en cuyo caso se limita a describirlas.

No se persigue contemplar todos y cada uno de los detalles técnicos para la implementación de cada medida, sino que se pretende aportar la información básica de carácter general en cada medida para llevar a cabo el análisis coste eficacia, como se indica en la Instrucción de Planificación Hidrológica.

Así, las estimaciones de los costes suponen una primera aproximación, no una evaluación exacta del coste de cada actuación.

Además de incluir el procedimiento, fórmulas, curvas y/o rango de valores para la estimación del coste, se detalla la metodología seguida y los datos iniciales para llevarla a cabo, citando los condicionantes que puede presentar su aplicación.

El coste obtenido con los procedimientos que se encuentran en la Guía no incluye impuestos y corresponde a diciembre de 2006. No están incluidos conceptos como la redacción del proyecto, la dirección de obra o la adquisición de terreno, por tanto, cuando se incurra en esos gastos, deberán considerarse y sumarse a las partidas incluidas en la Guía.

Hay que tener presente la incertidumbre presente en toda primera aproximación de cálculo de costes, así como la sensibilidad de algunos precios de materiales básicos, significativamente oscilantes.

Para la estimación del coste de las actuaciones, dependiendo del caso en concreto, bien se ha realizado un estudio estadístico de costes de actuaciones reales proponiendo una función que relacione los parámetros o variable medibles dependientes del coste, o bien se ha realizado un diseño tipo, que mediante la aplicación de precios unitarios, permite presupuestar el coste de la medida.

Los datos extraídos del coste de actuaciones reales se han obtenido de la información aportada por diferentes administraciones:

- La Dirección General del Agua del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
- Las confederaciones hidrográficas.
- La Mancomunidad de los Canales del Taibilla.
- Las administraciones hidráulicas autonómicas.
- Las empresas del sector.

4. Metodología.

A continuación se exponen los pasos seguidos detalladamente a la hora de evaluar y concebir el trabajo para que se puede seguir la lógica del mismo.

Se pueden distinguir 3 partes diferenciadas: primero, el análisis técnico; segundo, el análisis económico y tercero, el estudio del Índice de Integridad Biótica (IBI) en el Turia y sus afluentes.

El análisis técnico comienza evaluando qué efectos provocan los mayores problemas de continuidad longitudinal para las especies piscícolas y, por ende, para el río, producidos por los azudes. Se han cuantificado los problemas y después calculado cuánto mejoraría el río si se solucionaran.

A continuación se ha seguido, paso a paso, las instrucciones de cálculo de valores significativos propuestos por el protocolo para caracterizar la continuidad del río:

- Caracterización de los obstáculos y condiciones de paso.
- Cálculo del índice del efecto barrera (IF):
Valores bajos del IF indican que el azud no es una barrera para la mayor parte de las especies que se encuentran en ese tramo del río, mientras que valores altos (el máximo es 10) indican que supone un problema, llegando a ser infranqueable para todas las especies en cualquier condición de caudal.
- Cálculo del índice de compartimentación (IC) de las masas de agua.
Valores alto de este índice indican mayor grado de compartimentación, siendo ésta la base de los problemas de continuidad en el río.
- Cálculo del coeficiente de prioridad de las especies piscícolas ($\sum Ki$).
Mide el grado de impacto que la fragmentación de la masa de agua produce sobre la comunidad de peces existente.
- Cálculo del índice de conectividad longitudinal (ICL).
Ríos muy compartimentados con una alta afección a la comunidad de peces presente obtendrán valores altos del ICL. Valores muy bajos indican que la continuidad es buena porque los obstáculos afectan poco a la comunidad de peces presente. Un río o masa de agua sin azudes presentará un ICL de 0, independientemente de las especies que haya.

En el análisis económico, antes de presupuestar el coste de estas soluciones, se ha evaluado si el método propuesto por la Guía Técnica del CEDEX se ajusta a la realidad en lo que a presupuestos se refiere. Para ello se han comparado los presupuestos de unas soluciones específicas calculados por la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos (ENRR) ajustados a la realidad, con los que se obtendrían mediante la fórmula de la Guía del CEDEX. Teniendo en cuenta las diferencias en cuanto a partidas presupuestadas, tanto por la ENRR como por el CEDEX, y la disparidad en los presupuestos, se han

establecido unos valores de ajuste para los resultados de las fórmulas de la Guía del CEDEX para que éstos se ajusten más a la realidad.

Con estos ajustes se ha procedido a calcular los presupuestos de las posibles actuaciones en todos los azudes, acabando este apartado aunando los resultados de los análisis técnico y económico en una relación coste-eficacia.

Ya con la suficiente información particular de cada azud, se ha realizado un catálogo de azudes con sus principales características.

Posteriormente se ha llevado a cabo un análisis general del río Turia y sus afluentes en el tramo de estudio para ver cómo afecta la localización de azudes, afluentes y estaciones de muestreo a los valores del Índice de Integridad Biótica (IBI) en las masas de agua y se ha evaluado la exactitud de estos valores.

Tras todos estos cálculos, procedimientos, evaluaciones y ajustes, se ha procedido a proponer una actuación y destacar unas conclusiones, primero para puntos determinados y, finalmente, del trabajo global.

5. Aplicación.

5.1. Análisis técnico.

En esta parte se pretende analizar los azudes desde un punto de vista técnico, viendo los impactos que provocan en el río, cómo se cuantifican y cómo mejoraría el río si se paliaran.

5.1.1. Caracterización de la continuidad del río.

Este apartado se ha llevado a cabo mediante el Protocolo de Caracterización Hidromorfológica de Masas de Agua de la Categoría Ríos, de 2015, cuyo documento pertenece a una serie de protocolos de laboratorio, muestreo y cálculo de índices y métricas para su uso en los programas de seguimiento del estado de las masas de agua continentales (lago, ríos y embalses) y en la clasificación del estado ecológico.

El contenido de estos documentos debe ser tenido en cuenta por los Organismos de cuenca en la explotación de las redes oficiales de control del estado y potencial ecológico en las masas de agua superficiales.

Por tanto, este protocolo de muestreo es un elemento básico para la aplicación de lo establecido en la Directiva Marco del Agua y está orientado a la obtención de las variables hidromorfológicas necesarias para la caracterización hidromorfológica de las masas de agua de los ríos, comprendiendo la continuidad de los ríos.

El protocolo se aplica en principio al total de cada una de las masas de agua con estaciones que incluyan elementos de calidad hidromorfológicos, a través de trabajos de campo y bases de datos ya existentes, y posteriormente se seleccionan tramos de muestreo en el terreno.

Estos elementos de calidad hidromorfológica permitirán la diferenciación entre masas de agua en muy buen estado, en buen estado y muy modificadas.

Este protocolo puede aplicarse a una masa de agua concreta o al conjunto de las masas de agua de una cuenca o subcuenca, debiendo realizarse, en este segundo caso, de aguas arriba hacia aguas abajo.

La continuidad del río, en este protocolo, se caracteriza analizando aquellos elementos artificiales que suponen un obstáculo (azudes en nuestro caso) a los distintos movimientos migratorios a lo largo del cauce de las especies piscícolas.

Las fases del proceso del protocolo, recopilados todos los datos, son:

1. Caracterización de los obstáculos y condiciones de paso.
2. Cálculo del índice del efecto barrera (IF).
3. Cálculo del índice de compartimentación (IC) de las masas de agua.
4. Cálculo del coeficiente de prioridad de las especies piscícolas ($\sum Ki$).
5. Cálculo del índice de conectividad longitudinal (ICL).

5.1.1.1. Caracterización de los obstáculos y condiciones de paso.

Veamos un esquema con las partes de los azudes:

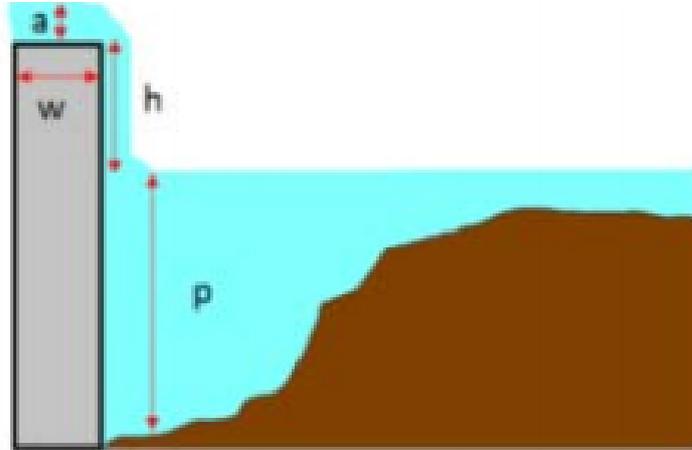


Figura 8. Esquema de un azud

Véase estas características para los diferentes azudes:

AZUDES	ALTURA AZUD (m)	ALTURA SALTO (h) (m)	PROFUNDIDAD POZA REMONTE (p) (m)
Estación RENFE	1,5	1,10	0,41
Villastar	2	2,62	-
Villel	2,5	2,18	0,32
El Campo	2	1,75	0,25
El Campo 2 (Villel)	-	-	-
Libros	2	1,72	0,28
Rambla de Libros	2	1,25	0,75
Puente Riodeva	1	1,12	-
Rambla San Sebastián	1	0,83	0,17
Carretera	0,5	0,33	0,17
Pueblo	1,5	1,21	0,29
Camino	0,5	0,13	0,37
La Olmeda	3	0,75	2,25
Azud del Molino	-	-	-
Molino Marqués	2	1,52	0,48

Tabla 8. Características de los azudes del trabajo

Sobre las condiciones de paso a valorar tanto en ascenso como en descenso, no se dispone de datos suficientes para estipularlos.

5.1.1.2. Cálculo del índice del efecto barrera (IF).

Una vez dispuestos los datos para cada azud en particular, se debe calcular el efecto barrera de cada azud para las distintas especies piscícolas.

Por esta razón, se dividen las especies en 4 grupos según su capacidad de natación y salto:

- Grupo 1: especies con alta capacidad de natación y salto (ejemplo: salmónidos).
- Grupo 2: especies con moderada capacidad de natación y salto (ejemplo: ciprínidos reófilos como bogas y barbos).
- Grupo 3: especies con baja capacidad de natación y salto (ejemplo: ciprínidos pequeños como bermejuelas o gobios).
- Grupo 4: anguilas.

El efecto barrera de cada azud determinará la continuidad piscícola de la masa de agua frente a los movimientos migratorios de cada especie.

Para otorgar un valor del efecto barrera de cada azud será necesario comprobar, para cada grupo de especies piscícolas que habitan en el tramo donde se encuentra el azud, si algún valor de los parámetros medidos supera o no los valores límites inferiores y superiores en la siguiente tabla:

EFECTO DE BARRERA: VALORES LIMITANTES POR GRUPO DE ESPECIES PISCÍCOLAS				
Valores limitantes (en m o m/s)	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Salto verticales				
Altura máxima del salto	1	0,5	0,2	
Profundidad mínima de la poza de remonte	1,25h	1,4h	1,4h	Indiferente

Tabla 9. Efecto barrera. Valores limitantes por grupos de especies piscícolas

Si ninguna de estas medidas supera el máximo ni están por debajo de los mínimos en cualquier condición de caudal, entonces el obstáculo es franqueable para ese grupo. Para calcular el valor global del grado de efecto barrera se sumará la puntuación obtenida para cada grupo.

EFECTO DE BARRERA EN FUNCIÓN DEL CAUDAL CIRCULANTE				
Grado de efecto de barrera en ascenso (A)	Puntuación			
	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo 4
Franqueable en cualquier condición de caudal	0	0	0	0
Franqueable dependiendo de las condiciones de caudal	1,5	1,5	1,5	1,5
No franqueable en cualquier condición de caudal	2,5	2,5	2,5	2,5

Tabla 10. Efecto barrera en función del caudal circulante

De esta forma se obtiene el Índice de Efecto Barrera (IF). Valores bajos del IF indican que el azud no es una barrera para la mayor parte de las especies que se encuentran en ese tramo del río, mientras que valores altos (el máximo es 10) indican que supone un problema, llegando a ser infranqueable para todas las especies en cualquier condición de caudal.

AZUDES	ALTURA AZUD (m)	ALTURA SALTO (h) (m)	PROFUNDIDAD POZA REMONTE (p) (m)	FRANQUEABILIDAD	ÍNDICE EFECTO BARRERA	MASA
Estación RENFE	1,5	1,10	0,41	infranqueable por salto	10	15.05
Villastar	2	2,62	-	infranqueable por salto	10	15.05
Villel	2,5	2,18	0,32	infranqueable por salto	10	15.05
El Campo	2	1,75	0,25	infranqueable por salto	10	15.05
El Campo 2 (Villel)	-	-	-	-	-	15.05
Libros	2	1,72	0,28	infranqueable por salto	10	15.05
Rambla de Libros	2	1,25	0,75	infranqueable por salto	10	15.05
Puente Riodeva	1	1,12	-	infranqueable por salto	10	15.05
Rambla San Sebastián	1	0,83	0,17	infranqueable por poza	10	15.06
Carretera	0,5	0,33	0,17	infranqueable por poza	10	15.06
Pueblo	1,5	1,21	0,29	infranqueable por salto	10	15.06
Camino	0,5	0,13	0,37	franqueable para 1,2 y 3	2,5	15.06
La Olmeda	3	0,75	2,25	franqueable para 1	7,5	15.07
Azud del Molino	-	-	-	-	-	15.07
Molino Marqués	2	1,52	0,48	infranqueable por salto	10	15.09

Tabla 11. Franqueabilidad de los azudes

Como resultado de esta tabla se desprende que prácticamente todos los azudes son infranqueables para todos los grupos de especies.

5.1.1.3. Cálculo del índice de compartimentación de las masas de agua (IC).

Este índice se utiliza para analizar el grado de compartimentación o fragmentación de un río, una cuenca, una masa de agua o un tramo determinado.

El índice de compartimentación relaciona el índice de efecto barrera medio ($\sum IF/N$) del tramo a analizar con la distancia media entre obstáculos (L_T/N).

Valores alto de este índice indican mayor grado de compartimentación, siendo ésta la base de los problemas de continuidad en el río.

$$IC = \frac{\frac{\sum IF}{N}}{\frac{L_T}{N}} = \frac{\sum IF}{L_T}$$

L_T = Longitud de la masa de agua considerada (km)

N = Número obstáculos transversales existentes

$\sum IF$ = Suma de los índices de efecto barrera de los obstáculos existentes.

Ecuación 1. Cálculo del índice de compartimentación

	<u>MASA</u> <u>15.05</u>	<u>MASA</u> <u>15.06</u>	<u>MASA</u> <u>15.07</u>	<u>MASA</u> <u>15.08</u>	<u>MASA</u> <u>15.09</u>
Longitud masa (km)	32,01	21,09	11,87	2,6	15,69
$\sum IF$	70	32,5	7,5	0	10
IC	2,19	1,54	0,63	0,00	0,64

Tabla 12. Cálculo del índice de compartimentación para cada masa de agua

5.1.1.4. Cálculo del coeficiente de prioridad de las especies piscícolas ($\sum Ki$).

El coeficiente de prioridad de las especies piscícolas ($\sum Ki$) mide el grado de impacto que la fragmentación de la masa de agua produce sobre la comunidad de peces existente.

Este factor se ha establecido a partir del propuesto para ríos italianos por Pini Prato en 2007 y modificado para que se adecúe a las características de la ictiofauna ibérica.

El coeficiente de prioridad de las especies piscícolas se calcula como:

$$ki = N \times (M_{ov} + V_n)^2$$

Ecuación 2. Cálculo del coeficiente de prioridad de especies piscícolas

Donde:

“N” o Naturalidad: prioriza a las especies piscícolas autóctonas frente a las invasoras o introducidas.

NATURALIDAD	
<i>Especies endémicas o autóctonas</i>	1
<i>Especies introducidas</i>	0.5
<i>Especies invasoras</i>	0

Tabla 13. Naturalidad de las especies

“Mov” o Movilidad: capacidad de la especie de realizar migraciones.

MOVILIDAD	
<i>Especies diádromas</i>	5
<i>Especies con fuertes exigencias migratorias</i>	4
<i>Especies sin grandes exigencias migratorias</i>	3
<i>Especies con movimientos migratorios reducidos o sedentarias</i>	2
<i>Especies euralinas</i>	1

Tabla 14. Movilidad de las especies

“Vn” o Vulnerabilidad: según las categorías establecidas en la lista roja de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza.

VULNERABILIDAD	
<i>Especies en peligro</i>	2
<i>Especies vulnerables</i>	1,5
<i>Especies sin catalogar</i>	1

Tabla 15. Vulnerabilidad de las especies

La asignación de valores N, Mov y Vn para las especies piscícolas presentes se ha obtenido del Tesouro Taxonómico para la clasificación del estado ecológico de las masas de agua continentales (TAXAGUA).

<u>ESPECIE</u>	<u>NOMBRE COMÚN</u>	<u>N</u>	<u>Mov</u>	<u>Vn</u>	<u>Ki</u>
Salmo trutta	Trucha común	1	4	1,5	30,25
Luciobarbus guiraonis	Barbo mediterráneo	1	4	1	25
Parachondrostoma turiense	Madrija	1	4	2	36
Alburnus alburnus	Alburno	0,5	3	1	8
Gobio lozanoi	Gobio	0,5	3	1	8
Anguilla anguilla	Anguila	1	5	2	49

Tabla 16. Cálculo del coeficiente de prioridad de especies piscícolas presentes

<u>MASAS</u>	<u>ESPECIES</u>	<u>Ki</u>	<u>ΣKi</u>
15.05			30,25
	Trucha común	30,25	
15.06			-
15.07			77
	Barbo mediterráneo	25	
	Madrija	36	
	Alburno	8	
	Gobio	8	
15.08			-
15.09			-

Tabla 17. Cálculo del coeficiente de prioridad de especies piscícolas presentes por masa de agua

5.1.1.5. Cálculo del índice de conectividad longitudinal (ICL).

La conectividad longitudinal de una cuenca, río o masa de agua vendrá determinada por la fragmentación de la cuenca y el grado de impacto que ésta produce sobre la comunidad de especies piscícolas existentes.

El índice de continuidad longitudinal se calcula como:

$$ICL = IC \times \sum k_i$$

Donde:

“IC” es el índice de compartimentación de la masa de agua visto anteriormente.

“ $\sum k_i$ ” es la suma de los coeficientes de prioridad de las especies piscícolas presentes en la masa de agua.

Ríos muy compartimentados con una alta afección a la comunidad de peces presente obtendrán valores altos del ICL. Valores muy bajos indican que la continuidad es buena porque los obstáculos afectan poco a la comunidad de peces presente. Un río o masa de agua sin azudes presentará un ICL de 0, independientemente de las especies que haya.

	<u>MASA</u> <u>15.05</u>	<u>MASA</u> <u>15.06</u>	<u>MASA</u> <u>15.07</u>	<u>MASA</u> <u>15.08</u>	<u>MASA</u> <u>15.09</u>
Longitud masa (km)	32,01	21,09	11,87	2,6	15,69
$\sum IF$	70	32,5	7,5	0	10
IC	2,19	1,54	0,63	0,00	0,64
$\sum Ki$	30,25	-	77	-	-
ICL	66,2	-	48,7	-	-

Tabla 18. Índice de conectividad longitudinal para cada masa de agua

De las masas 15.06, 15.08 y 15.09 no se pueden obtener el índice de conectividad longitudinal (ICL) porque no hay estaciones de muestreo representativas de estas masas. Por tanto, no hay datos de especies piscícolas y, por ende, tampoco de coeficientes de prioridad de especies piscícolas (K_i).

5.1.2. Problemas, soluciones y cuantificación de la mejora.

Los dos efectos evaluados son el efecto barrera y el efecto remanso. Ambos son medibles y establecerán las bases para la propuesta y evaluación de las soluciones o medidas posibles a adoptar.

- Respecto al efecto barrera:

A la hora de evaluar el efecto barrera se ha tenido en cuenta la altura del azud y el desnivel de la lámina de agua entre aguas arriba y aguas abajo del azud.

	<u>Desnivel DY</u> (m)	<u>Altura azud</u> (m)
1 Estación RENFE	1,10	1,5
2 Villastar	2,62	2
3 Villel	2,18	2,5
4 El Campo	1,75	2
5 El Campo 2 (Villel)		
6 Libros	1,72	2
7 Rambla de Libros	1,25	2
8 Puente Riodeva	1,12	1
9 Rambla San Sebastián	0,83	1
10 Carretera	0,33	0,5
11 Pueblo	1,21	1,5
12 Camino	0,13	0,5
13 La Olmeda	0,75	3
14 Azud del Molino		
15 Molino Marqués	1,52	2

Tabla 19. Altura y desnivel de lámina de agua de los azudes

Y la franqueabilidad se define como:

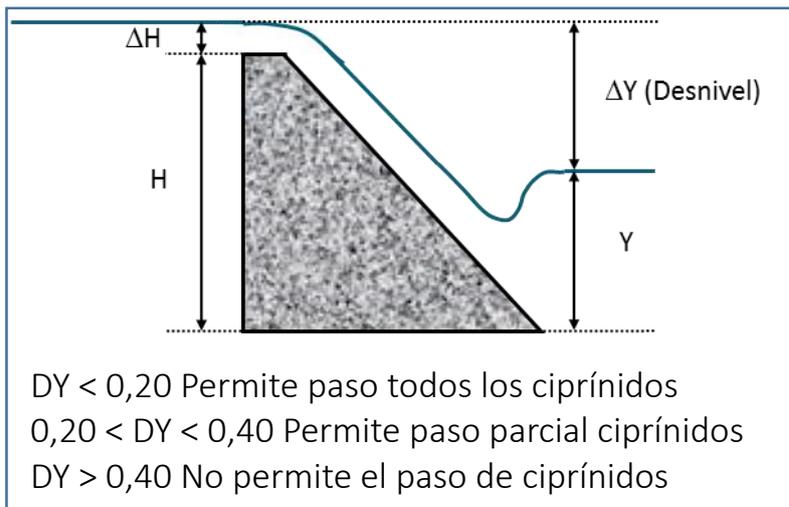


Figura 9. Franqueabilidad

Con todos estos datos podemos concluir que:

- Falta de datos de 2 azudes (El Campo 2 y Azud del Molino).
- Sólo 1 azud permite el paso a todos los ciprínidos (Camino).
- Sólo 1 azud permite el paso parcial (Carretera).
- El resto de azudes no permite el paso.
- Estos datos previos de franqueabilidad han sido obtenidos únicamente para los ciprínidos, cuando en realidad hay más tipos de fauna piscícola, como anguilas.

- Respecto al efecto remanso:

Cada azud genera un efecto remanso aguas arriba del mismo, dependiente del desnivel de la lámina de agua entre aguas arriba y aguas abajo del azud y la pendiente aguas arriba.

Por tanto, teniendo las cotas de los azudes y la longitud que los separa, lo primero a calcular sería la pendiente entre los diferentes azudes.

La pendiente es el cociente de la diferencia de cota de dos azudes entre la longitud que los separa.

A su vez, la longitud del efecto remanso se define como el cociente del desnivel de lámina de agua entre la pendiente.

$$L_{rem} = \frac{\Delta y}{i}$$

Ecuación 3. Cálculo de la longitud de remanso

AZUDES	LONGITUD ACUMULADA (km)	COTA (m)	Pendiente	DESNIVEL LÁMINA (m)	ALTURA AZUD (m)	EFFECTO REMANSO (m)
Estación hidr. Teruel	0,0	900				
Estación RENFE	0,8	886	0,01699	1,10	2	88
Villastar	8,2	845	0,00559	2,62	2	358
Villel	11,3	835	0,00319	2,18	3	784
El Campo	19,5	815	0,00244	1,75	2	818
El Campo 2 (Villel)	22,3	798	0,00609			-
Libros	23,9	790	0,00492	1,72	2	406
Rambla de Libros	29,0	772	0,00351	1,25	2	570
Puente Riodeva	30,8	763	0,00501	1,12	1	200
Rambla San Sebastian	33,5	752	0,00406	0,83	1	246
Carretera	35,2	745	0,00429	0,33	1	116
Pueblo	43,9	712	0,00377	1,21	2	397
Camino	48,8	702	0,00202	0,13	1	247
La Olmeda	58,7	670	0,00325	0,75	3	924
Azud del Molino	60,7	631	0,01962			-
Molino Marqués	72,0	617	0,00123	1,52	2	1620
Embalse Benagéber	98,0	526				

Tabla 20. Longitud de remanso de cada azud

Así, asignándole a cada azud su longitud de remanso, a la vez que se establecen los azudes por masa de agua, pasaremos a comprobar la importancia relativa del efecto remanso a través del siguiente gráfico:

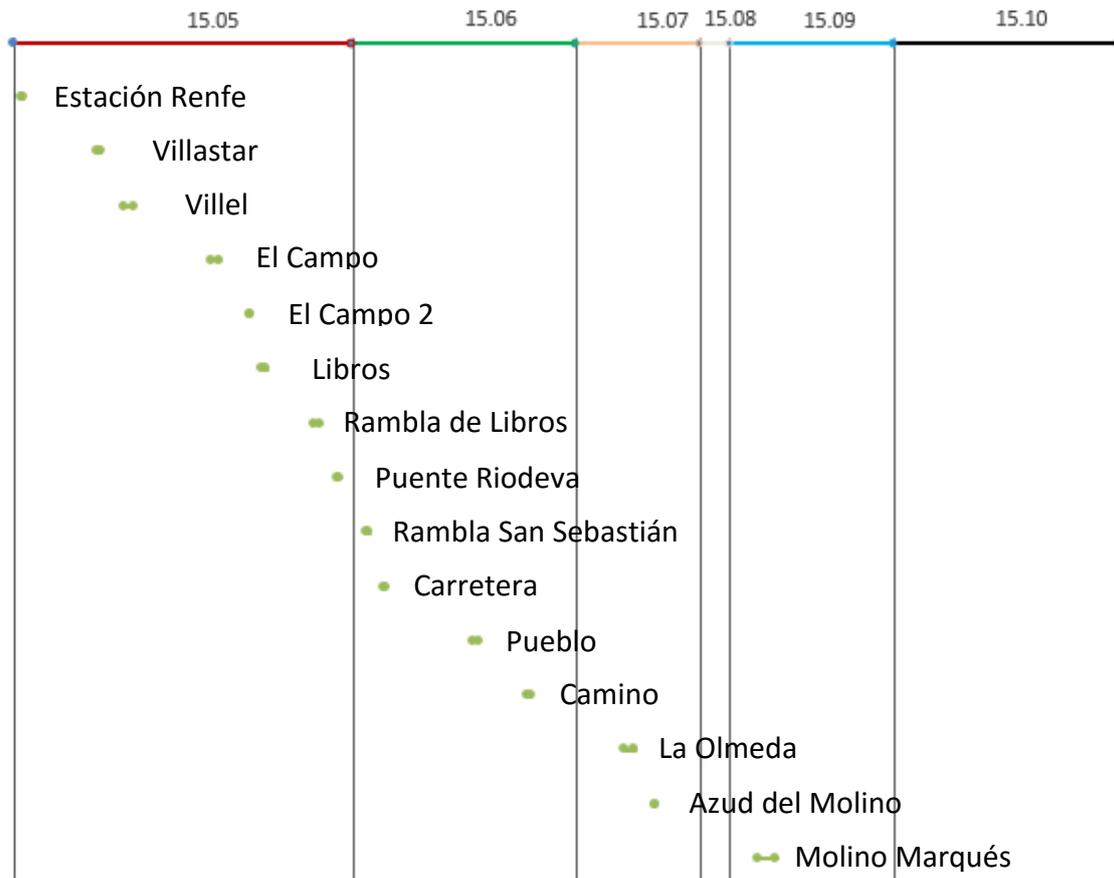


Figura 10. Remansos de los azudes

Se puede comprobar fácilmente como la afección del efecto remanso al tramo del río de este estudio es mínima y, como se había visto anteriormente, en la masa 15.05 existe un efecto remanso significativo fruto de la densidad de azudes en esta masa (8 azudes) y no por culpa de las longitudes de remansos o la superposición de los mismos.

Para eliminar el efecto barrera existen dos posibles soluciones: la primera y más obvia es la eliminación completa del azud (normalmente mecánica) (para azudes en desuso) y la segunda, la permeabilización del mismo (para azudes en uso). La permeabilización consiste en la construcción de dispositivos que posibilitan la permeabilidad a la fauna piscícola, como las escalas de peces, canales especiales, rampas, etc.

Para suprimir el efecto remanso hay, en cambio una única solución, que pasa por la eliminación completa del azud.

Por tanto, es importante observar la mejora que supondría para el río la superación de los efectos antes citados.

En el caso del efecto barrera, la mejora se ha estipulado con los metros de continuidad ganados, es decir, sumando las distancias al azud anterior y siguiente. El porcentaje de mejora corresponde al porcentaje de los metros de continuidad ganados con respecto a la longitud total.

MASA	NOMBRE	LONITUD (km)	% DEL TOTAL	AZUDES	CONTINUIDAD (m) SUPERÁNDOLO
15.05	Río Alfambra -	32,0	33%	<u>8</u>	
	Rbla. Matanza			Estación Renfe	8.158
				Villastar	10.471
				Villel	11.320
				El Campo	10.972
				El Campo 2 (Villel)	4.415
				Libros	6.758
				Rambla de Libros	6.929
				Puente Riodeva	4.508
15.06	Rbla. Matanza -	21,1	21%	<u>4</u>	
	Rbla. Barrancón			Rambla San Sebastián	4.086
				Carretera	10.119
				Pueblo	13.682
				Camino	14.798
15.07	Rbla. Barrancón -	11,9	12%	<u>2</u>	
	Río Arcos			La Olmeda	11.847
				Azud del Molino	13.326
15.08	Río Arcos - El Villarejo	2,6	3%	<u>0</u>	
15.09	El Villarejo -	15,7	16%	<u>1</u>	
	E. Benagéber			Molino Marqués	37.338
15.10	E. Benagéber	15	15%	<u>0</u>	
TOTAL		98,3	100%		

Tabla 21. Resumen efecto barrera

En el caso del efecto remanso, la mejora se propone como los metros de longitud de remanso quitados. El porcentaje de mejora en este caso corresponde al porcentaje de metros de remanso quitados con respecto a la longitud total de remanso (6.776 m).

SI QUITÁRAMOS AZUD	KM TOTALES REMANSADOS	% REMANSADO	% MEJORA	KM REMANSO QUITADOS
Estación Renfe	6,69	6,82%	1,3%	0,09
Villastar	6,42	6,55%	5,3%	0,36
Villel	5,99	6,11%	11,6%	0,78
El Campo	5,96	6,08%	12,1%	0,82
El Campo 2 (Villel)	-	-	-	-
Libros	6,37	6,50%	6,0%	0,41
Rambla de Libros	6,21	6,33%	8,4%	0,57
Puente Riodeva	6,58	6,71%	2,9%	0,20
Rambla San Sebastián	6,53	6,66%	3,6%	0,25
Carretera	6,66	6,79%	1,7%	0,12
Pueblo	6,38	6,51%	5,9%	0,40
Camino	6,53	6,66%	3,6%	0,25
La Olmeda	5,85	5,97%	13,6%	0,92
Azud del Molino	-	-	-	-
Molino Marqués	5,16	5,26%	23,9%	1,62

Tabla 22. Resumen efecto remanso

5.1.3. Efectividad de las medias.

Ordenando los azudes de mayor a menor continuidad obtenida:

CONTINUIDAD (m) SUPERÁNDOLO	% MEJORA	AZUD
37.338	38,0%	Molino Marqués
14.798	15,1%	Camino
13.682	13,9%	Pueblo
13.326	13,6%	Azud del Molino
11.847	12,1%	La Olmeda
11.320	11,5%	Villel
10.972	11,2%	El Campo
10.471	10,7%	Villastar
10.119	10,3%	Carretera
8.158	8,3%	Estación Renfe
6.929	7,0%	Rambla de Libros
6.758	6,9%	Libros
4.508	4,6%	Puente Riodeva
4.415	4,5%	El Campo 2 (Villel)
4.086	4,2%	Rambla San Sebastián

Tabla 23. Mejora de la continuidad superando el efecto barrera

Ordenando los azudes de mayor a menor longitud de remanso eliminada:

% REMANSADO	AZUD	% MEJORA
5,26%	Molino Marqués	23,9%
5,97%	La Olmeda	13,6%
6,08%	El Campo	12,1%
6,11%	Villel	11,6%
6,33%	Rambla de Libros	8,4%
6,50%	Libros	6,0%
6,51%	Pueblo	5,9%
6,55%	Villastar	5,3%
6,66%	Camino	3,6%
6,66%	Rambla San Sebastián	3,6%
6,71%	Puente Riodeva	2,9%
6,79%	Carretera	1,7%
6,82%	Estación Renfe	1,3%
-	Azud del Molino	-
-	El Campo 2 (Villel)	-

Tabla 24. Mejora de longitud remansada superando el efecto remanso

Y, por último, sumando ambos porcentajes de mejora (del efecto barrera y del efecto remanso), quedaría la siguiente tabla:

% MEJORA	AZUD
61,9%	Molino Marqués
25,7%	La Olmeda
23,2%	El Campo
23,1%	Villel
19,8%	Pueblo
18,7%	Camino
15,9%	Villastar
15,5%	Rambla de Libros
13,6%	Azud del Molino
12,9%	Libros
12,0%	Carretera
9,6%	Estación Renfe
7,8%	Rambla San Sebastián
7,5%	Puente Riodeva
4,5%	El Campo 2 (Villel)

Tabla 25. Mejora total superando ambos efectos

Hay que tener en cuenta que para los dos azudes en los que no existen datos de altura (Azud del Molino y El Campo 2) no se ha podido medir su porcentaje de mejora de efecto remanso y no se han tenido en cuenta. Por tanto, el porcentaje de mejora de estos dos azudes corresponde únicamente al debido por la supresión del efecto barrera. Para el caso del azud El Campo 2 el cambio no parece que sea significativo, pero para el Azud del Molino sí que le añadiría un porcentaje que le haría situarse entre los de mayor mejora.

5.2. Análisis económico.

En este punto se pretenden abordar las medidas posibles a adoptar desde un punto de vista únicamente económico, por lo que se explicará la manera de presupuestar el coste y los ajustes que se deben hacer.

5.2.1. Comparación presupuestaria ENRR – CEDEX.

Para poder abordar el tema del coste de las actuaciones con mayor precisión, se debe estudiar primero la comparación presupuestaria entre la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos (ENRR) y la Guía Técnica para la Caracterización de Medidas del Centro de Estudios Hidrográficos (CEH) del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX).

Mientras que el CEDEX da un valor aproximado de una parte del presupuesto en base a unas determinadas medidas de los azudes y características del río, la ENRR presupuesta cada partida del proyecto en base a unas mediciones y justificación de precios muy precisos.

Por una parte compararemos los presupuestos para la eliminación de barreras y, por otra, el de la adecuación de las mismas.

En el caso de la eliminación de barreras, la ENRR propone la demolición del azud Presa del Carburo, un azud situado en Teruel, de una altura de 2,5 metros y una longitud de 15 metros.

Para el cálculo del presupuesto, la ENRR tiene en cuenta:

- La demolición manual de macizos de obras de fábrica con martillo neumático, desplazamiento de maquinaria para carga y transporte a vertedero (13.640 €).
- Excavación a cielo abierto y perfilado de taludes con carga y transporte a vertedero (2.460 €).
- Canon de vertido para escombros limpio en vertedero autorizado (5.161 €).
- Canon de vertido para escombros mixtos en vertedero autorizado (1.376 €).

Por tanto, el presupuesto total es de 22.637 € para la eliminación del azud Presa del Carburo.

En el caso de presupuestar la eliminación de este azud con la Guía Técnica para la Caracterización de Medidas del CEDEX, ésta señala que a pesar de que las actuaciones presupuestadas para la puesta fuera de servicio de un azud pueden comprender la

demolición del mismo, establecimiento de accesos temporales, desvío del río, retirada de sedimentos, restauración de riberas, etc., la actuación esencial y, por tanto, la única que se referencia es la demolición mediante retroexcavadora o martillo neumático del azud, además de la retirada de los materiales.

Aun así, los costes asociados son difícilmente tipificables, ya que están más relacionados con las características de la ubicación que con las dimensiones del azud.

La demolición se presupuesta mediante un coste unitario por metro lineal de longitud de coronación en función de la altura del azud, cuya curva de coste resultante sigue la función:

$$I = 111,4 * x ^ 1,2655$$

Donde:

“I” es el coste unitario en €/m de longitud de coronación.

“x” es la altura del azud desde cimentación en metros.

Esta expresión es razonablemente fiable para azudes con altura inferior a 3 metros, valor que habitualmente corresponde a azudes de pequeñas dimensiones totales.

Aplicando la fórmula vista en el caso del azud Presa del Carburo, de 2,5 m de altura y 15 m de longitud, se obtendría:

$$I = 111,4 * 2,5 ^ 1,2655 = 355,20 \text{ €/m de longitud de coronación}$$

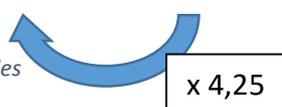
$$\text{Presupuesto de demolición: } 355,20 \text{ €/m} * 15 \text{ m} = 5.329 \text{ €.}$$

Por tanto, el presupuesto obtenido en la guía de CEDEX para demolición y transporte (5.329 €) es bastante inferior al de la ENRR (13.640 €). Por tanto, para obtener un valor más realista para las partidas de demolición y transporte mediante las fórmulas del CEDEX, éstas se deben multiplicar 2,56 (13.640/5.329).

Respecto al presupuesto total de la ENRR (22.637 €) el presupuesto del CEDEX (5.329 €) supone un 23,5 %, por lo que para adecuar la fórmula del CEDEX a la totalidad del proyecto, se debe multiplicar por 4,25 (22.637/5.329).

COSTE ELIMINACIÓN AZUD (€)		
PARTIDAS INCLUIDAS	ENRR (€)	CEDEX (€)
Demolición + Transporte	13.640	5.329
Excavación	2.460	no lo considera
Cánones	6.537	no lo considera
TOTAL	22.637	5.329

Tabla 26. Comparación coste eliminación de azudes



En el caso de la permeabilización de las barreras, la ENRR planea actuar sobre 8 azudes (Azud de Las Cadenas, Azud Estación de Renfe, Azud de Villastar, Azud de Villel, Azud de Las Masías, Azud de El Campo, Azud de Libros y Azud Rambla de Libros), 6 de los cuales coinciden con algunos de los existentes en el presente trabajo (Azud Estación de Renfe, Azud de Villastar, Azud de Villel, Azud de El Campo, Azud de Libros y Azud Rambla de Libros).

El cálculo de estos presupuestos es mucho más variado, porque las soluciones adoptadas para cada uno de los azudes a permeabilizar no han sido las mismas.

Por ejemplo, para la permeabilización mediante rampa de peces, las partidas tenidas en cuenta en el presupuesto son:

- La formación de ataguía, con el transporte a nuevo lugar o vertedero del material.
- Demolición de macizos de obras de fábrica con martillo neumático, incluido desplazamiento de maquinaria y transporte.
- Excavación a cielo abierto, incluyendo azudes y carga y transporte de materiales.
- Escollera de bloque de piedra calcárea de 200 – 1.000 kg.
- Escollera de bloque de piedra calcárea de hasta 250 kg.
- Hormigón.
- Canon de vertido para escombros limpio y mixto.
- Revegetación de escollera.
- Tubería de hormigón armado.

Para la permeabilización mediante río artificial, las partidas tenidas en cuenta en el presupuesto son:

- La formación de ataguía, con el transporte a nuevo lugar o vertedero del material.
- Murete de bloques de hormigón.
- Escollera de bloque de piedra calcárea de 200 – 1.000 kg.
- Escollera de bloque de piedra calcárea de hasta 250 kg.
- Excavación a cielo abierto, incluyendo azudes y carga y transporte de materiales.
- Hidrosiembra, incluidas herramientas y medios auxiliares.
- Extensión de cantos rodados.
- Compuerta y guías.
- Hormigón.
- Hormigón para armar.
- Acero para armaduras.
- Encofrado.
- Revegetación de escollera.
- Demolición de macizos de obras de fábrica con martillo neumático, incluido desplazamiento de maquinaria y transporte.
- Canon de vertido para escombros limpio y mixto.

Para la permeabilización mediante escala de artesas, las partidas tenidas en cuenta en el presupuesto son:

- La formación de ataguía, con el transporte a nuevo lugar o vertedero del material.
- Demolición de macizos de obras de fábrica con martillo neumático, incluido desplazamiento de maquinaria y transporte.
- Tubería de hormigón armado.
- Murete de bloques de hormigón.
- Excavación a cielo abierto, incluyendo azudes y carga y transporte de materiales.
- Escollera de bloque de piedra calcárea de 200 – 1.000 kg.
- Hormigón.
- Hormigón para armar.
- Acero para armaduras.
- Encofrado.
- Tabique en escala de peces de hormigón, con vertedero superior, aristas redondeadas, orificio de fondo y deflector curvo adosado.
- Junta de dilatación estanca.
- Extensión de cantos rodados.
- Compuerta y guías.
- Canon de vertido para escombros limpio y mixto.
- Emparrillado electrofundido galvanizado de perfiles metálicos macizos.
- Revestimiento de mampostería con piedra natural.

La elección de la medida concreta a realizar para la impermeabilización depende de los desniveles a salvar:

- Grandes alturas (mayor a 8-10 m): por razones económicas, son más competitivos:
Los ascensores (para peces grandes).

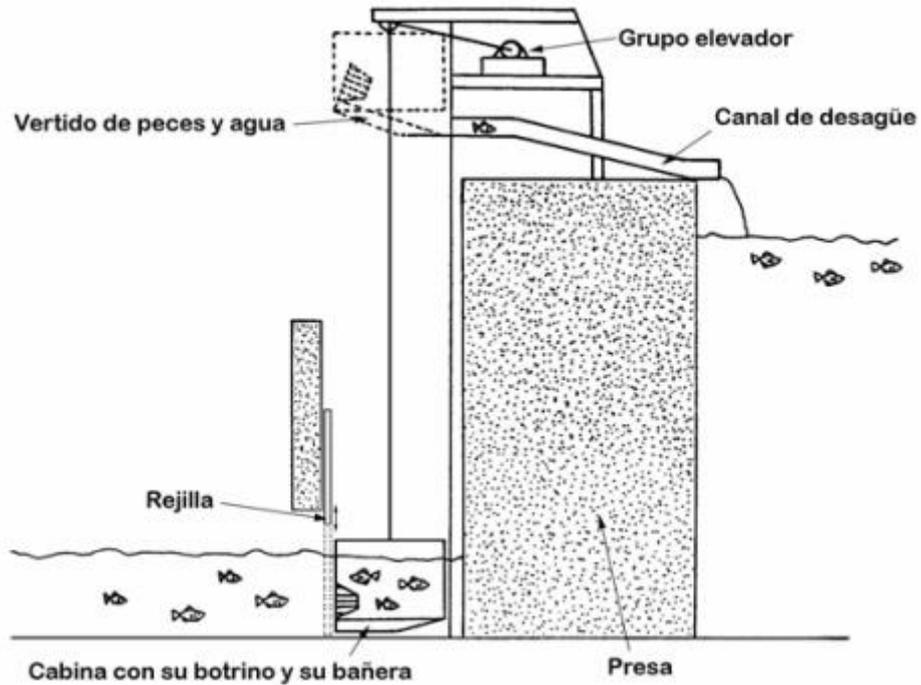


Figura 11. Esquema de ascensor

Y las esclusas (para peces pequeños).

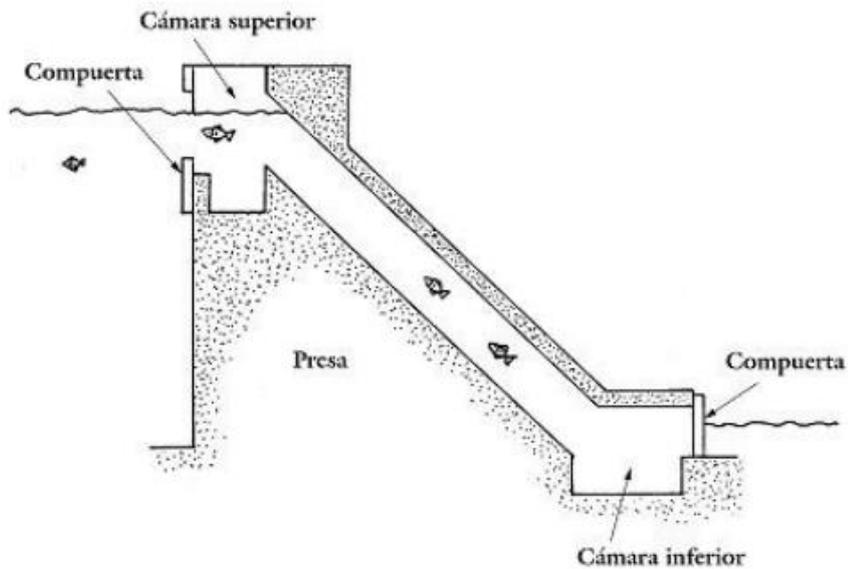


Figura 12. Esquema de esclusa

Los ascensores son jaulas o cajas que suben aguas arriba para volcar su contenido con cierta periodicidad, dependiendo del número de especies.

Las esclusas para peces funcionan de una forma muy similar a las esclusas de navegación, sólo que las piscícolas tienen un efecto llamada que las haga más atractiva para los peces.

- Pequeñas alturas (menor a 5-8 m):
Escalas de artesas

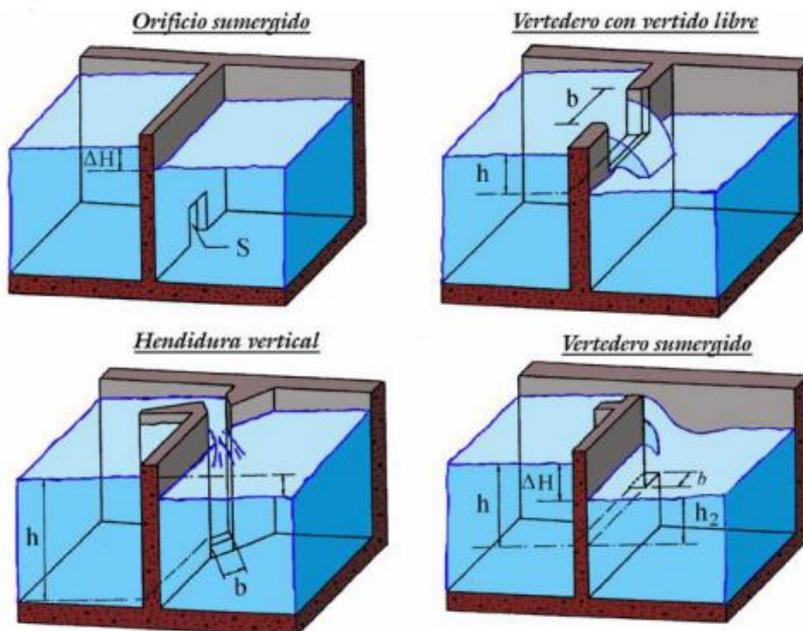
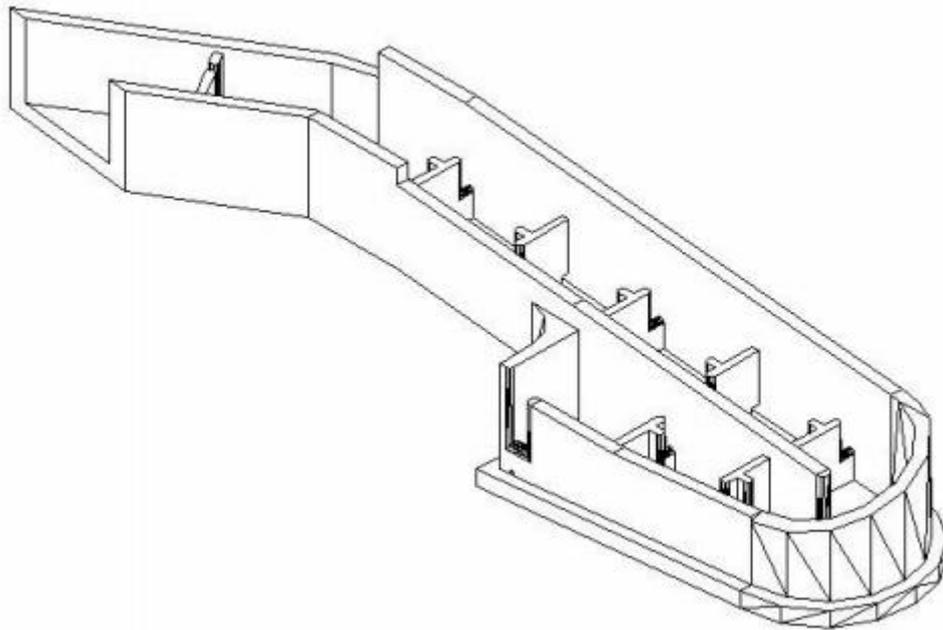


Figura 13. Esquemas escala de artesas

Y ralentizadores (escalas Denil).

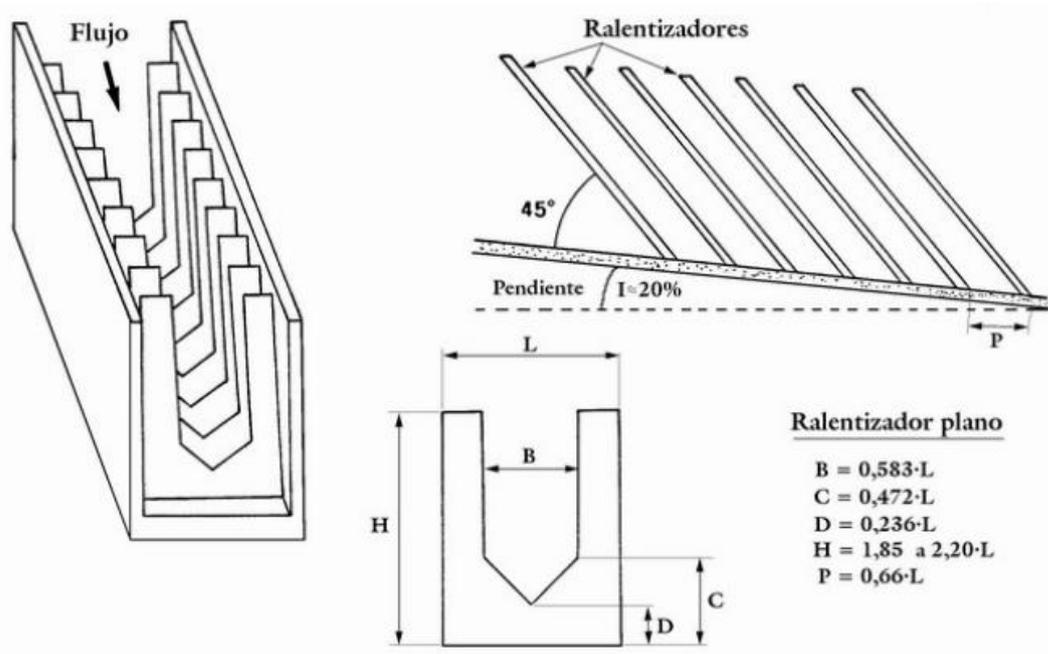


Figura 14. Esquema ralentizadores Denil

Las escalas de artesas o de estanques sucesivos son escaleras dentro del agua con peldaños de 20-30 cm, circulando un caudal por vertederos, orificios y/o hendiduras verticales.

Los ralentizadores o escalas Denil son canales rectilíneos con una fuerte pendiente, que mediante unos deflectores se reduce la velocidad de flujo hasta valores adecuados para el paso de peces.

- Saltos pequeños (menores a 2,5 m):
Escalas Denil para caudales reducidos (hasta 500 l/s) y especies buenas nadadoras (barbos, truchas, salmones,...).

Rampas de peces

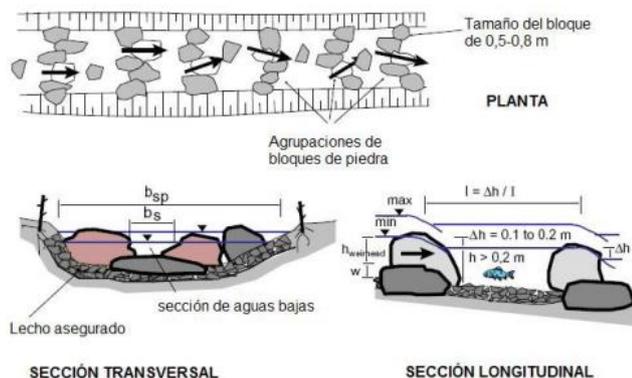


Figura 15. Esquema rampa de peces

Las rampas de peces son planos inclinados con una pendiente inferior al 10 %, cuyas piedras naturales en el lecho aumentan la rugosidad del mismo y disminuyen la velocidad del agua. Estas piedras se colocan, en ocasiones, de forma que se crean pequeñas presas para que los peces tomen aliento en la ascensión, imitando una secuencia natural de rápidos y remansos.

- Para resolver situaciones más difíciles:
Escalas de estanques sucesivos (menos selectivas, mayores saltos que con las escalas Denil manteniendo la funcionalidad).
- Para permitir uso deportivo adicional:
Ríos artificiales.

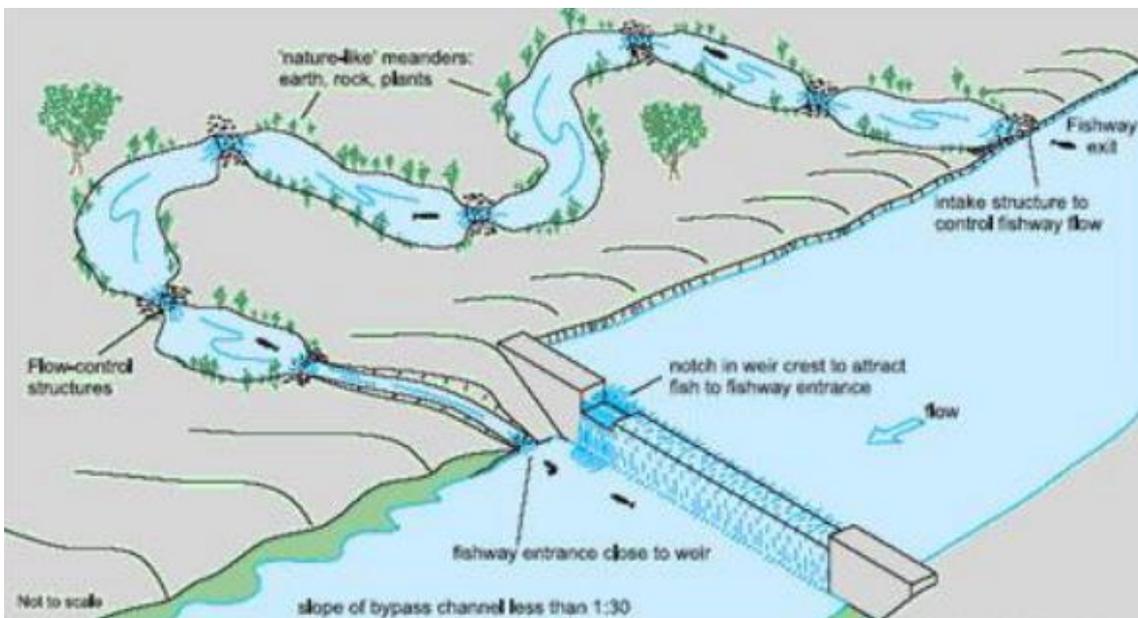


Figura 16. Esquema río artificial

Los ríos artificiales son canales con pendientes del 3 al 5 %, que están divididos en tramos rápidos, cuyos remansos de agua permiten un camino alternativo para que los peces sorteen el azud.

Los ralentizadores Denil se descartan por ser casi exclusivamente para peces buenos nadadores (salmónidos), no valiendo para los ciprínidos. Además se atascan con facilidad.

Fijándose uno a uno en los azudes propuestos por la ENRR y su actuación, obtenemos los siguientes presupuestos totales:

AZUD	ALTURA (m)	ANCHURA (m)	SOLUCIÓN PROPUESTA	PRESUPUESTO TOTAL (€)
Las Cadenas	2	20	Río Artificial	55.064
Estación Renfe	1,9	33	Escala de Artesas	80.739
Villastar	2,4	22	Escala de Artesas	58.600
Villel	2	20	Rampa de Peces	259.123
Las Masías	1,7	20	Rampa de Peces	264.050
El Campo	1,4	12	Rampa de Peces	249.293
Libros	1,8	15	Escala de Artesas	50.834
Rambla de Libros	0,8	12	Rampa de Peces	205.704

Tabla 27. Soluciones propuestas en la ENRR

Nótese la gran diferencia de coste de las rampas de peces frente a los ríos artificiales o las escalas de artesas, siendo aproximadamente 5 veces mayor.

En el caso de presupuestar la permeabilización de los azudes con la Guía Técnica para la Caracterización de Medidas del CEDEX, ésta propone únicamente el uso de escalas de peces. Esta tipología corresponde a estanques sucesivos con escotadura lateral o vertical, siendo más versátil ésta última sin suponer un aumento de coste significativo.

La altura máxima a salvar se limita a 10 metros para este tipo de solución, refiriéndose a altura como la diferencia de nivel de la lámina de agua aguas arriba y aguas abajo, siendo posible trabajar con la altura del azud a salvar en los casos que no se disponga del primer dato, aunque la incertidumbre del coste calculado será mayor, quedando siempre del lado de la seguridad.

Otro parámetro importante a la hora de determinar el diseño de esta escala y, por tanto, presupuestarlo, son las especies piscícolas existentes en el cauce, o mejor dicho, sólo las especies autóctonas de ese tramo del río. Las especies, en función de su tamaño, tienen distintas capacidades de salto, condicionando el desnivel entre estanques de la escala, así como el número de estanques a situar en la misma y su talla.

Las especies pequeñas con poca capacidad de salto (normalmente ciprínidos), establece una diferencia de cota entre estanques máxima de 30 cm, siendo habitualmente de 20 cm. Las dimensiones de los estanques pueden ser, en cambio, reducidas, en planta (1,6 m de largo y 1,2 m de ancho aproximadamente) y calado (0,8 m)

Para especies de más grandes con mayor capacidad de salto (por ejemplo, salmones), el número de estanques puede ser más reducido, debido a que entre ellos puede haber un desnivel de más de 30 cm. Las medidas tienen que ser superiores a las del caso anterior, en planta (3 m de largo y 2,4 m de ancho) y calado (1,2 m), induciendo a mayores costes.

Existe una solución versátil capaz de satisfacer a todas las especies, una escala mixta que permite el paso tanto a especies pequeñas con menor capacidad de salto como a especies grandes con mayor capacidad de salto. En este caso el coste es más desfavorable, ya que supone instalar un elevado número de estanques con artesas de grandes dimensiones.

En la realidad se encuentran escalas diseñadas bien sólo para especies piscícolas pequeñas, bien mixtas, pero no suele ser habitual encontrar escalas diseñadas para peces grandes con mayor capacidad de salto.

Como en el tramo del río objeto del trabajo hay especies de varios tamaños, se presupuestará el coste de escalas mixtas que salven el obstáculo para todos los peces autóctonos.

La ecuación correspondiente al coste es del tipo:

$$I = 41.779 * x^{1,0865}$$

Donde:

“I” es el coste de inversión en €.

“x” es la altura del obstáculo en metros.

Esta estimación del coste obtenida pertenece al total de la actuación, incluyendo partidas de obras auxiliares (acceso a la zona, ataguía, desvío del río, sistemas de protección y compuerta, restauración de la zona, etc.)

Existe una elevada incertidumbre en cuanto a la estimación del coste total, ya que existen ciertos factores relevantes no tenidos en cuenta en la función que pueden alterar significativamente los costes. Estos factores tienen que ver con la accesibilidad al emplazamiento exacto del azud, así como la topografía y otras condiciones locales.

Mediante la fórmula de la Guía Técnica del CEDEX se procede a calcular los costes de la actuación de permeabilización en los mismos azudes que la ENRR.

AZUD	ALTURA (m)	PRESUPUESTO TOTAL (€)
Las Cadenas	2	88.721
Estación Renfe	1,9	83.912
Villastar	2,4	108.158
Villel	2	88.721
Las Masías	1,7	74.360
El Campo	1,4	60.218
Libros	1,8	79.125
Rambla de Libros	0,8	32.784

Tabla 28. Coste de permeabilización con las fórmulas del CEDEX

Para poder realizar un correcto análisis de la comparación presupuestaria entre la Guía Técnica del CEDEX y la ENRR, se deben comparar sólo los presupuestos de las actuaciones que la ENRR abarca mediante escala de artesas. Éstas son las de Estación Renfe, Villastar y Libros.

Para el azud Estación Renfe, el presupuesto de la ENRR se estipula en 80.739 €, mientras que la Guía Técnica del CEDEX lo hace en 83.912 €. No queda lugar a dudas que ambos presupuestos se aproximan enormemente (sólo hay una diferencia del 3,78 %).

En el caso del azud Villastar, la ENRR presupuesta la permeabilización en 58.600 €, pero el CEDEX lo establece en 108.158 € (un 84,57 % más). Este gran desajuste se puede deber a que la Guía da una importancia mayor a la altura del azud, cuando en realidad lo más relevante es la ubicación, facilidad o dificultad de acceso y topografía.

Al ser el azud comparado más grande, se nota que la diferencia entre presupuestos radica en la altura.

Por tanto, la Guía puede ser engañosa a la hora de estimar presupuestos de permeabilización en azudes grandes.

Por último, para el azud de Libros, la ENRR presupuesta la permeabilización en 50.834 €, mientras que la guía del CEDEX lo hace en 79.125 €, esto es un 55,65 % más.

El azud de Libros tiene una altura similar al de Estación Renfe, por esta razón los presupuestos de la guía son similares (83.912 € frente 79.125 €). No así los de la ENRR (80.739 € frente 50.834). Los de la ENRR son más exactos, ya que están basados en partidas exactas para unas condiciones del entorno, geografía y topografía determinadas, mientras que la guía tan sólo emplea el factor de altura de azud.

Además de las condiciones del entorno, el azud de Libros presenta una gran diferencia presupuestaria con el azud Estación Renfe pese a su altura similar, debido a su anchura, 15 m frente a 33 m, lo que dificulta el trabajo y encarece la permeabilización, no tenido en cuenta en la Guía Técnica del CEDEX.

Para extraer las conclusiones finales de la comparación presupuestaria entre la ENRR y la Guía Técnica del CEDEX nos apoyaremos en la siguiente tabla con los azudes para los que se ha tomado la misma solución de permeabilización, es decir, la escala de peces:

AZUD	ALTURA (m)	ANCHURA (m)	PRESUPUESTO ENRR (€)	PRESUPUESTO CEDEX (€)
Estación Renfe	1,9	33	80.739	83912
Villastar	2,4	22	58.600	108158
Libros	1,8	15	50.834	79125

Tabla 29. Comparación presupuestos de permeabilización

Por tanto, se concluye que el presupuesto calculado con la fórmula de la Guía Técnica del CEDEX es siempre mayor que el presupuesto elaborado por la ENRR. El caso del azud Estación Renfe es excepcional, porque no existe ningún otro azud que tenga una anchura tan grande y, por tanto, no existirá otro azud en el que el presupuesto de la Guía del CEDEX se aproxime tanto al valor real.

Por esta razón, descartando para el análisis el azud de Estación Renfe por ser un dato anómalo, realizaremos la media de desviación del coste de las permeabilizaciones de la Guía del CEDEX y la ENRR para los azudes Villastar y Libros.

Para Villastar, el presupuesto de la ENRR es un 45 % menor que el de la Guía; para Libros, un 35 % menor.

Por tanto, estableceremos que el presupuesto real del total de la permeabilización es un 40 % menor que el calculado mediante la fórmula de la Guía Técnica del CEDEX.

La mayor o menor aproximación del presupuesto de la ENRR (que otorga valores reales, no como el CEDEX que los aproxima) depende fundamentalmente de:

- La altura del azud: para grandes alturas el presupuesto del CEDEX se dispara, ya que ésta es la única variable que contempla (véase el azud Villastar).
- La anchura del azud: a mayor anchura, más sube el presupuesto de la ENRR y, por tanto, más se aproxima al del CEDEX (véase el azud Estación Renfe).
- Las condiciones del entorno, geografía y topografía determinadas: a mayor dificultad de acceso, mayores obras complementarias y por ende, más aumentará el presupuesto de la ENRR aproximándose al del CEDEX.

5.2.2. Coste de las actuaciones.

El presupuesto para la eliminación de barreras ha sido obtenido mediante la Guía Técnica del CEDEX.

Este presupuesto tan sólo incluye la demolición del azud con el transporte del material, quedando fuera el establecimiento de accesos temporales, desvío del río, restauración de riberas, excavaciones y cánones de vertido.

La fórmula establecida para el cálculo, ya vista en el punto anterior, es:

$$I = 111,4 * x ^ 1,2655$$

Donde:

“I” es el coste unitario en €/m de longitud de coronación.

“x” es la altura del azud desde cimentación en metros.

Por tanto, el coste total será:

$$C = I * h$$

Donde:

“C” es el coste total en € de la demolición.

“I” es el coste unitario en €/m de longitud de coronación.

“h” es la longitud en coronación en m.

AZUD	ALTURA (m)	LONGITUD EN CORONACIÓN (m)	COSTE DEMOLICIÓN (€)
Molino Marqués	2	12	3.214
La Olmeda	3	15	6.711
El Campo	2	12	3.214
Villel	2,5	20	7.104
Pueblo	1,5	12	2.233
Camino	0,5	10	463
Villastar	3	22	9.842
Rambla de Libros	2	12	3.214
Azud del Molino	-	-	-
Libros	2	15	4.017
Carretera	0,5	10	463
Estación Renfe	1,5	33	6.141
Rambla San Sebastián	1	10	1.114
Puente Riodeva	1,5	10	1.861
El Campo 2 (Villel)	-	-	-

Tabla 30. Coste de demolición de azudes

Como ya hemos visto en el punto anterior en la comparación presupuestaria entre la ENRR y la Guía Técnica del CEDEX, la Guía sólo contempla el coste de demolición, mientras que la ENRR presupuesta:

- La demolición manual de macizos de obras de fábrica con martillo neumático, desplazamiento de maquinaria para carga y transporte a vertedero.
- Excavación a cielo abierto y perfilado de taludes con carga y transporte a vertedero.
- Canon de vertido para escombros limpios en vertedero autorizado.
- Canon de vertido para escombros mixtos en vertedero autorizado.

También se ha valorado que el presupuesto obtenido por el CEDEX supone sólo el 23,5 % del total del coste de la actuación completa.

Por tanto, obtener el coste total de la eliminación de las barreras deberemos multiplicar el coste de las demoliciones por 4,26 ($23,5 \% * 4,26 = 100 \%$).

AZUD	COSTE DEMOLICIÓN (€)	COSTE TOTAL ELIMINACIÓN (€)
Molino Marqués	3.214	13.691
La Olmeda	6.711	28.588
El Campo	3.214	13.691
Villel	7.104	30.263
Pueblo	2.233	9.513
Camino	463	1.974
Villastar	9.842	41.929
Rambla de Libros	3.214	13.691
Azud del Molino	-	-
Libros	4.017	17.114
Carretera	463	1.974
Estación Renfe	6.141	26.161
Rambla San Sebastián	1.114	4.746
Puente Riodeva	1.861	7.928
El Campo 2 (Villel)	-	-

Tabla 31. Coste total de la eliminación de azudes

El coste de las posibles actuaciones de permeabilización de los azudes también ha sido presupuestado con la Guía Técnica del CEDEX, como se ha visto en el tema anterior.

La única posible solución para la permeabilización que contempla la Guía estableciendo una fórmula para el cálculo del presupuesto es la escala de peces.

Esta estimación del coste obtenida pertenece al total de la actuación, incluyendo partidas de obras auxiliares (acceso a la zona, ataguía, desvío del río, sistemas de protección y compuerta, restauración de la zona, etc.)

La fórmula establecida para el cálculo, ya vista en el punto anterior, es:

$$I = 41.779 * x ^ 1,0865$$

Donde:

“I” es el coste de inversión en €.

“x” es la altura del obstáculo en metros.

AZUD	ALTURA (m)	<u>COSTE PERMEABILIZACIÓN</u> (€)
Molino Marqués	2	88.721
La Olmeda	3	137.832
El Campo	2	88.721
Villel	2,5	113.063
Pueblo	1,5	64.905
Camino	0,5	19.674
Villastar	3	137.832
Rambla de Libros	2	88.721
Azud del Molino	-	-
Libros	2	88.721
Carretera	0,5	19.674
Estación Renfe	1,5	64.905
Rambla San Sebastián	1	41.779
Puente Riodeva	1,5	64.905
El Campo 2 (Villel)	-	-

Tabla 32. Coste de permeabilización de azudes calculado con su altura

Como ya se ha visto en el punto anterior, la altura y anchura del azud, así como las condiciones del entorno, geografía y topografía particulares, influyen de manera notoria sobre estos resultados, debiendo ponderarse en un 60 %, ya que de media el presupuesto de la ENRR para la permeabilización es un 40 % menor que el de la Guía Técnica del CEDEX.

AZUD	COSTE PERMEABILIZACIÓN (€)	COSTE AJUSTADO PERMEABILIZACIÓN (€)
Molino Marqués	88.721	53.233
La Olmeda	137.832	82.699
El Campo	88.721	53.233
Villel	113.063	67.838
Pueblo	64.905	38.943
Camino	19.674	11.804
Villastar	137.832	82.699
Rambla de Libros	88.721	53.233
Azud del Molino	-	-
Libros	88.721	53.233
Carretera	19.674	11.804
Estación Renfe	64.905	38.943
Rambla San Sebastián	41.779	25.067
Puente Riodeva	64.905	38.943
El Campo 2 (Villel)	-	-

Tabla 33. Ajuste del coste de permeabilización

Todos estos presupuestos del coste de permeabilización mediante escalas de peces se han llevado a cabo teniendo en cuenta la altura del azud, si bien es cierto que en la Guía Técnica del CEDEX se comenta que la altura máxima a salvar son 10 m, refiriéndose a esta altura como el desnivel de lámina de agua aguas arriba y aguas abajo del azud. Sólo en caso de no disponer de este dato se usaría la altura total del azud, pero como sí se dispone de él, se procede a realizar el mismo cálculo, esta vez con el desnivel de lámina de agua:

AZUD	DESNIVEL LÁMINA AGUA (m)	COSTE PERMEABILIZACIÓN (€)
Molino Marqués	1,524	66.035
La Olmeda	0,75	30.564
El Campo	1,753	76.882
Villel	2,184	97.624
Pueblo	1,206	51.208
Camino	0,127	4.439
Villastar	2,619	118.922
Rambla de Libros	1,253	53.380
Azud del Molino	-	-
Libros	1,72	75.311
Carretera	0,329	12.485
Estación Renfe	1,095	46.109
Rambla San Sebastián	0,829	34.077
Puente Riodeva	1,115	47.024
El Campo 2 (Villel)	-	-

Tabla 34. Coste de permeabilización de los azudes con su desnivel de lámina de agua

Y siguiendo el ejemplo anterior, cabría reducir el coste de la permeabilización por el desajuste citado entre la ENRR y la Guía Técnica del CEDEX:

AZUD	COSTE PERMEABILIZACIÓN (€)	COSTE AJUSTADO PERMEABILIZACIÓN (€)
Molino Marqués	66.035	39.621
La Olmeda	30.564	18.338
El Campo	76.882	46.129
Villel	97.624	58.574
Pueblo	51.208	30.725
Camino	4.439	2.663
Villastar	118.922	71.353
Rambla de Libros	53.380	32.028
Azud del Molino	-	-
Libros	75.311	45.187
Carretera	12.485	7.491
Estación Renfe	46.109	27.665
Rambla San Sebastián	34.077	20.446
Puente Riodeva	47.024	28.215
El Campo 2 (Villel)	-	-

Tabla 35. Coste ajustado de permeabilización

Veamos en la siguiente tabla la comparación entre el coste total de eliminación y el coste ajustado total de permeabilización mediante escala de peces:

AZUD	COSTE TOTAL ELIMINACIÓN (€)	COSTE AJUSTADO PERMEABILIZACIÓN (€)
Molino Marqués	13.691	39.621
La Olmeda	28.588	18.338
El Campo	13.691	46.129
Villel	30.263	58.574
Pueblo	9.513	30.725
Camino	1.974	2.663
Villastar	41.929	71.353
Rambla de Libros	13.691	32.028
Azud del Molino	-	-
Libros	17.114	45.187
Carretera	1.974	7.491
Estación Renfe	26.161	27.665
Rambla San Sebastián	4.746	20.446
Puente Riodeva	7.928	28.215
El Campo 2 (Villel)	-	-

Tabla 36. Costes ajustados de eliminación y permeabilización

El coste total de las permeabilizaciones suele ser del orden del doble, triple o cuádruple que el coste total de las eliminaciones para cada azud.

En cambio hay ciertos azudes para los que esta regla no es aplicable. Veamos cuáles son y por qué se produce esto.

En el caso del azud de La Olmeda se puede observar como la eliminación (28.588 €) es incluso más cara que la permeabilización (18.338 €). Esto se debe a que para calcular el presupuesto de la eliminación se han tenido en cuenta la altura y anchura del azud (3 m y 15 m respectivamente), mientras que para la permeabilización, el coste se basa en el desnivel de la lámina de agua (0,75 m).

Algo similar ocurre con el azud Estación Renfe, cuya anchura anómala por su gran tamaño (33 m) provoca que el coste de su eliminación (26.161 €) sea prácticamente igual al de su permeabilización (27.665 €).

Para el azud Camino, el coste de permeabilización no llega al doble que el de eliminación, pero también se trata de un caso anómalo, ya que es un azud más pequeño de lo normal (0,5 m) con un desnivel de lámina de agua de 0,127 m.

5.3. Catálogo de azudes.

AZUD ESTACIÓN RENFE



Situado en masa: 15.05
IBI: CUMPLE

EFFECTO BARRERA

Desnivel lámina de agua: 1,10 m
Altura: 1,5 m

EFFECTO REMANSO

88 m

Desuso: NO

Uso: riego

Mejora eliminando ambos efectos: 9,6 %

Coste: Eliminación: 26.161 €
Permeabilización: 27.665 €

AZUD VILLASTAR



Situado en masa: 15.05
IBI: CUMPLE

EFFECTO BARRERA

Desnivel lámina de agua: 2,62 m
Altura: 2 m

EFFECTO REMANSO

358 m

Desuso: NO

Uso: riego

Mejora eliminando ambos efectos: 15,9 %

Coste: Eliminación: 41.929 €
Permeabilización: 71.353 €

AZUD VILLEL



Situado en masa: 15.05

IBI: CUMPLE

EFECTO BARRERA

Desnivel lámina de agua: 2,18 m

Altura: 2,5 m

EFECTO REMANSO

784 m

Desuso: NO

Uso: riego

Mejora eliminando ambos efectos: 23,1 %

Coste: Eliminación: 30.263 €
Permeabilización: 58.574 €

AZUD EL CAMPO



Situado en masa: 15.05

IBI: CUMPLE

EFECTO BARRERA

Desnivel lámina de agua: 1,75 m

Altura: 2 m

EFECTO REMANSO

818 m

Desuso: NO

Uso: riego

Mejora eliminando ambos efectos: 23,2 %

Coste: Eliminación: 13.691 €
Permeabilización: 46.129 €

AZUD EL CAMPO 2

Situado en masa: 15.05
IBI: CUMPLE

EFFECTO BARRERA

Desnivel lámina de agua: -
Altura: -

EFFECTO REMANSO

-

Desuso: NO

Uso: riego

Mejora eliminando ambos efectos: 4,5 %

Coste: Eliminación: -

Permeabilización: -

AZUD LIBROS



Situado en masa: 15.05
IBI: CUMPLE

EFFECTO BARRERA

Desnivel lámina de agua: 1,72 m
Altura: 2 m

EFFECTO REMANSO

406 m

Desuso: NO

Uso: riego

Mejora eliminando ambos efectos: 12,9 %

Coste: Eliminación: 17.114 €

Permeabilización: 45.187 €

AZUD RAMBLA DE LIBROS



Situado en masa: 15.05

IBI: CUMPLE

EFECTO BARRERA

Desnivel lámina de agua: 1,25 m

Altura: 2 m

EFECTO REMANSO

570 m

Desuso: NO

Uso: riego

Mejora eliminando ambos efectos: 15,5 %

Coste: Eliminación: 13.691 €
Permeabilización: 32.028 €

PUENTE RIODEVA



Situado en masa: 15.05

IBI: CUMPLE

EFECTO BARRERA

Desnivel lámina de agua: 1,12 m

Altura: 1 m

EFECTO REMANSO

200 m

Desuso: NO

Uso: riego

Mejora eliminando ambos efectos: 7,5 %

Coste: Eliminación: 7.928 €
Permeabilización: 28.215 €

AZUD RAMBLA SAN SEBASTIÁN

Situado en masa: 15.06

IBI: NO EVALUADO

EFECTO BARRERA

Desnivel lámina de agua: 0,83 m

Altura: 1 m

EFECTO REMANSO

246 m

Desuso: NO

Uso: riego

Mejora eliminando ambos efectos: 7,8 %

Coste: Eliminación: 4.746 €
Permeabilización: 20.446 €

AZUD CARRETERA

Situado en masa: 15.06

IBI: NO EVALUADO

EFECTO BARRERA

Desnivel lámina de agua: 0,33 m

Altura: 0,5 m

EFECTO REMANSO

116 m

Desuso: NO

Uso: riego

Mejora eliminando ambos efectos: 12,0 %

Coste: Eliminación: 1.974 €
Permeabilización: 7.491 €

AZUD PUEBLO

Situado en masa: 15.06

IBI: NO EVALUADO

EFECTO BARRERA

Desnivel lámina de agua: 1,21 m

Altura: 1,5 m

EFECTO REMANSO

397 m

Desuso: NO

Uso: riego

Mejora eliminando ambos efectos: 19,8 %

Coste: Eliminación: 9.513 €
Permeabilización: 30.725 €

AZUD CAMINO

Situado en masa: 15.06

IBI: NO EVALUADO

EFECTO BARRERA

Desnivel lámina de agua: 0,13 m

Altura: 0,5 m

EFECTO REMANSO

247 m

Desuso: NO

Uso: riego

Mejora eliminando ambos efectos: 18,7 %

Coste: Eliminación: 1.974 €
Permeabilización: 2.663 €

AZUD LA OLMEDA



Situado en masa: 15.07

IBI: INCUMPLE

EFFECTO BARRERA

Desnivel lámina de agua: 0,75 m

Altura: 3 m

EFFECTO REMANSO

924 m

Desuso: NO

Uso: riego

Mejora eliminando ambos efectos: 25,7 %

Coste: Eliminación: 28.588 €
Permeabilización: 18.338 €

AZUD DEL MOLINO

Situado en masa: 15.07

IBI: INCUMPLE

EFFECTO BARRERA

Desnivel lámina de agua: -

Altura: -

EFFECTO REMANSO

-

Desuso: NO

Uso: riego

Mejora eliminando ambos efectos: 13,6 %

Coste: Eliminación: -
Permeabilización: -

AZUD MOLINO MARQUÉS

Situado en masa: 15.09

IBI: NO EVALUADO

EFECTO BARRERA

Desnivel lámina de agua: 1,52 m

Altura: 2 m

EFECTO REMANSO

1620 m

Desuso: NO

Uso: riego

Mejora eliminando ambos efectos: 61,9 %

Coste: Eliminación: 13.691 €
Permeabilización: 39.621 €

5.4. Relación coste-eficacia de las actuaciones.

Con los km de mejora calculados en el punto 5.1.3 y el coste de las actuaciones presupuestado en el punto 5.2.2 se dispone de 3 tablas de rentabilidad de las actuaciones para que se puede observar gráficamente el coste por km de las posibles soluciones adoptadas.

- Efecto barrera (Solución: eliminación)

<u>COSTE TOTAL ELIMINACIÓN (€)</u>	<u>KM DE CONTINUIDAD</u>	<u>% MEJORA</u>	<u>AZUD</u>	<u>RENTABILIDAD (€/km)</u>
13.691	37,34	38%	Molino Marqués	367
28.588	11,85	12%	La Olmeda	2.413
1.974	14,80	15%	Camino	133
9.513	13,68	14%	Pueblo	695
30.263	11,32	12%	Villel	2.674
1.974	10,12	10%	Carretera	195
13.691	10,97	11%	El Campo	1.248
41.929	10,47	11%	Villastar	4.004
17.114	6,76	7%	Libros	2.532
26.161	8,16	8%	Estación Renfe	3.207
7.928	4,51	5%	Puente Riodeva	1.759
13.691	6,93	7%	Rambla de Libros	1.976
4.746	4,09	4%	Rambla San Sebastián	1.161
-	13,33	14%	Azud del Molino	-
-	4,42	4%	El Campo 2 (Villel)	-

Tabla 37. Coste-eficacia de la eliminación de efecto barrera mediante eliminación

En esta tabla se puede observar que la rentabilidad es muy diversa (desde 133 €/km a 4.004 €/km). Esto se debe a que los km de continuidad ganados no dependen en absoluto del coste de la actuación, sino de la localización particular dentro del río. Recordemos que los km de continuidad se obtienen como suma de los km hasta el siguiente azud aguas arriba y los km hasta el siguiente azud aguas abajo. Por tanto, es obvio que las rentabilidades fluctúen y no guarden ninguna relación.

Este apartado nos valdrá en caso de tener que priorizar las actuaciones, ya que elegiremos las más rentables, las que tengan el coste por km ganado más bajo.

Veamos la rentabilidad a través de un gráfico de dispersión:

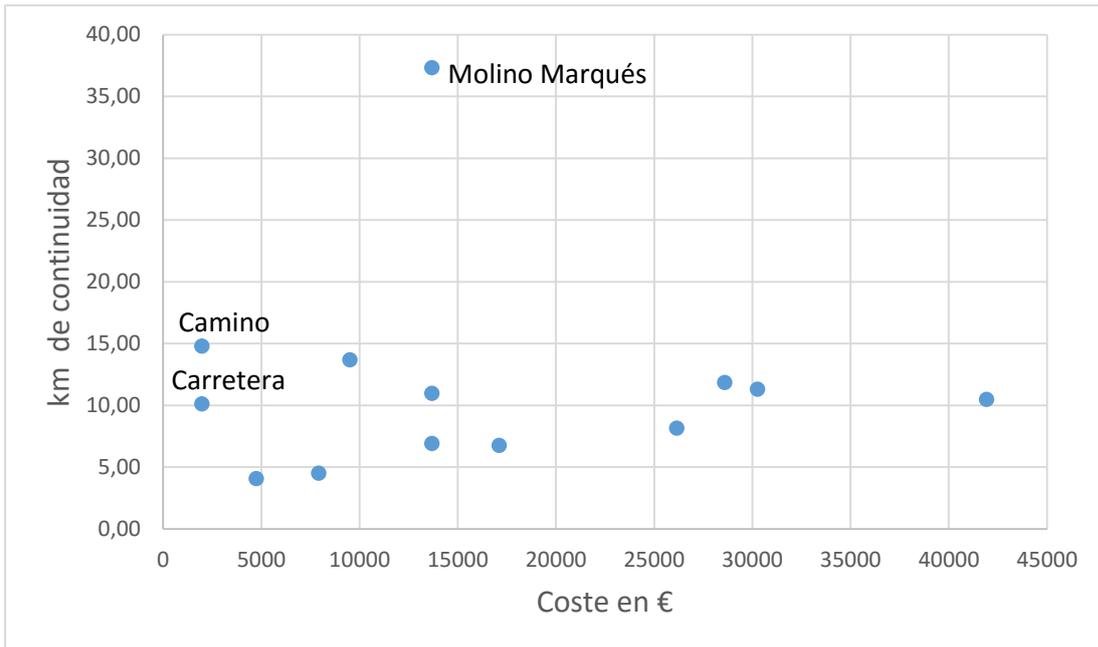


Figura 17. Coste-eficacia de la eliminación de efecto barrera mediante eliminación

Como se observa en ambas gráficas, los 3 mejores azudes sobre los que actuar en caso de eliminación según su rentabilidad serían Molino Marqués, Camino y Carretera.

- Efecto barrera (Solución: permeabilización)

COSTE AJUSTADO PERMEABILIZACIÓN (€)	KM DE CONTINUIDAD	% MEJORA	AZUD	RENTABILIDAD (€/km)
39.621	37,34	38%	Molino Marqués	1.061
18.338	11,85	12%	La Olmeda	1.548
2.663	14,80	15%	Camino	180
30.725	13,68	14%	Pueblo	2.246
58.574	11,32	12%	Villel	5.175
7.491	10,12	10%	Carretera	740
46.129	10,97	11%	El Campo	4.204
71.353	10,47	11%	Villastar	6.814
45.187	6,76	7%	Libros	6.687
27.665	8,16	8%	Estación Renfe	3.391
28.215	4,51	5%	Puente Riodeva	6.259
32.028	6,93	7%	Rambla de Libros	4.623
20.446	4,09	4%	Rambla San Sebastián	5.004
-	13,33	14%	Azud del Molino	-
-	4,42	4%	El Campo 2 (Villel)	-

Tabla 38. Coste-eficacia de la eliminación de efecto barrera mediante permeabilización

Igual que en la tabla de la eliminación, en esta de permeabilización también varían bastante los valores de rentabilidad (de 180 €/km a 6.814 €/km). En este caso, las rentabilidades para la permeabilización son más altas por lo general que para la eliminación. Esto se debe a que el coste total de las permeabilizaciones también es mayor al de las eliminaciones.

Viendo la rentabilidad para las permeabilizaciones en un gráfico de dispersión se obtiene:

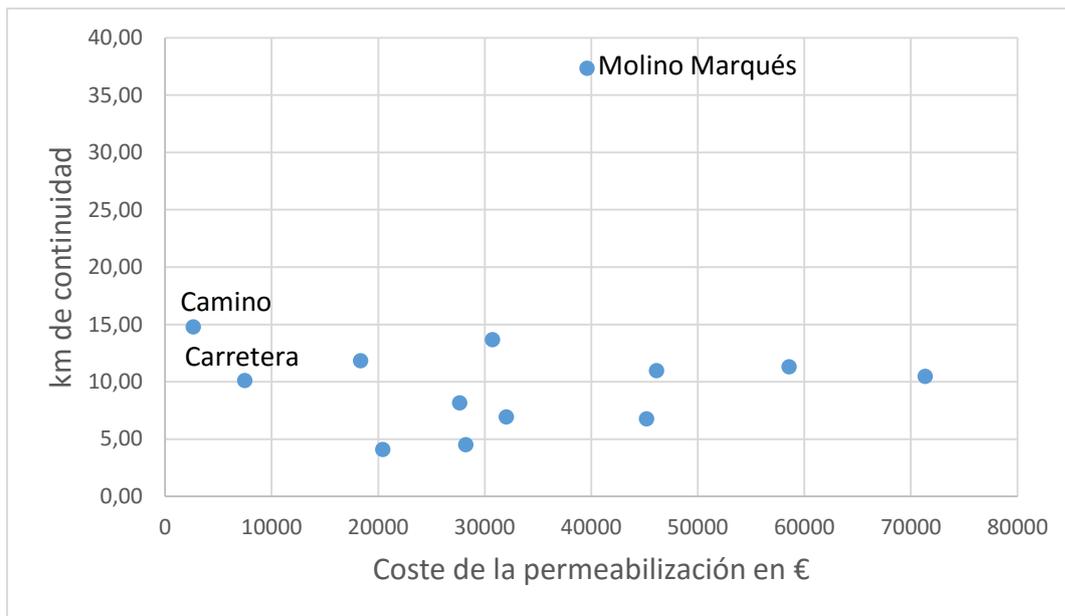


Figura 18. Coste-eficacia de la eliminación de efecto barrera mediante permeabilización

Como se puede apreciar, los 3 mejores azudes en cuanto a la rentabilidad para la permeabilización son los mismos que para la eliminación.

- Efecto remanso (Solución: eliminación)

COSTE TOTAL ELIMINACIÓN (€)	METROS REMANSADOS QUITADOS	% MEJORA	AZUD	RENTABILIDAD (€/km)
13.691	1.620	23,9%	Molino Marqués	8.451
28.588	924	13,6%	La Olmeda	30.939
13.691	818	12,1%	El Campo	16.737
30.263	784	11,6%	Villel	38.601
13.691	570	8,4%	Rambla de Libros	24.019
17.114	406	6,0%	Libros	42.152
9.513	397	5,9%	Pueblo	23.962
41.929	358	5,3%	Villastar	117.120
1.974	247	3,6%	Camino	7.992
4.746	246	3,6%	Rambla San Sebastián	19.291
7.928	200	2,9%	Puente Riodeva	39.638
1.974	116	1,7%	Carretera	17.017
26.161	88	1,3%	Estación RENFE	297.283
-	-	-	Azud del Molino	-
-	-	-	El Campo 2 (Villel)	-

Tabla 39. Coste-eficacia de la eliminación de efecto remanso mediante eliminación

Como ya se había dicho anteriormente, la única solución posible frente al efecto remanso es la eliminación.

El efecto remanso depende del desnivel de lámina de agua entre aguas arriba y aguas abajo del azud y la pendiente aguas arriba del mismo.

Como no existe una correlación entre la altura del azud y el desnivel de lámina de agua, tampoco existe relación entre el coste de la eliminación y los metros de remanso quitados.

Por esta razón y porque hay azudes que generan poco remanso, la rentabilidad de este apartado varía enormemente (de 7.992 €/km a 297.283 €/km).

Veamos la rentabilidad a través de un gráfico de dispersión:

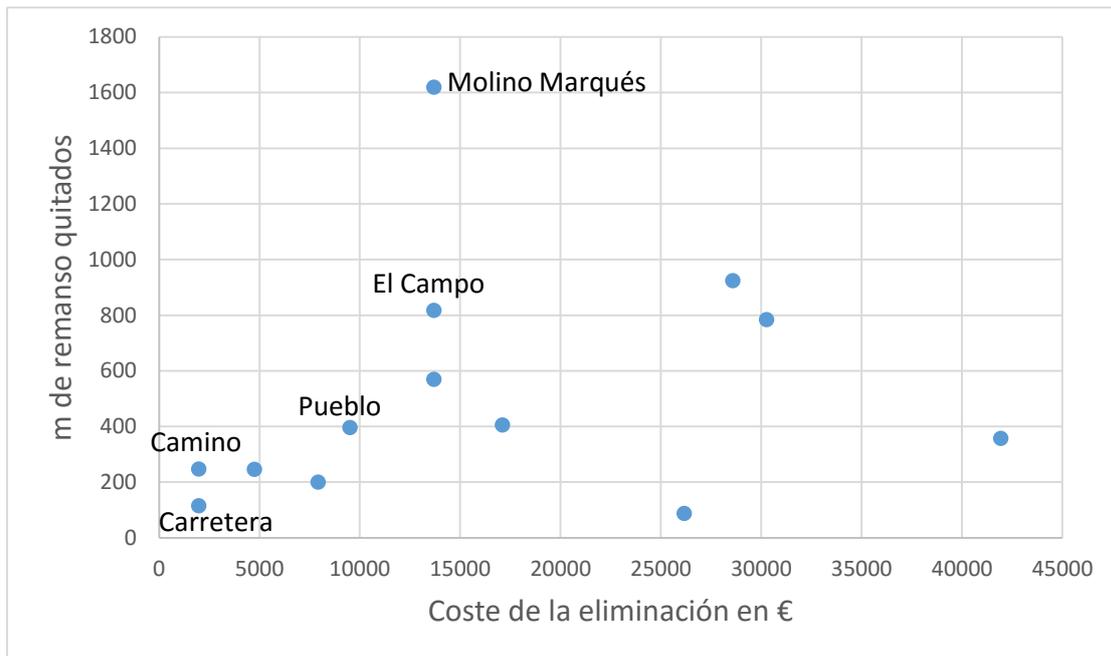


Figura 19. Coste-eficacia de la eliminación de efecto remanso mediante eliminación

Las rentabilidades más altas se obtienen para la eliminación de los azudes Camino, Molino Marqués, El Campo, Carretera y Pueblo, por orden de mayor a menor.

5.5. Análisis de especies en el Turia y afluentes.

En este apartado se pretende analizar qué especies se encuentran en qué partes del río, así como la posible afección de los azudes a este hecho.

El muestreo de especies se ha llevado a cabo mediante unas estaciones situadas en determinadas masas de agua y se consideran representativas de las mismas en toda su extensión.

La situación de los afluentes, los azudes y las estaciones la podemos observar en el siguiente esquema:

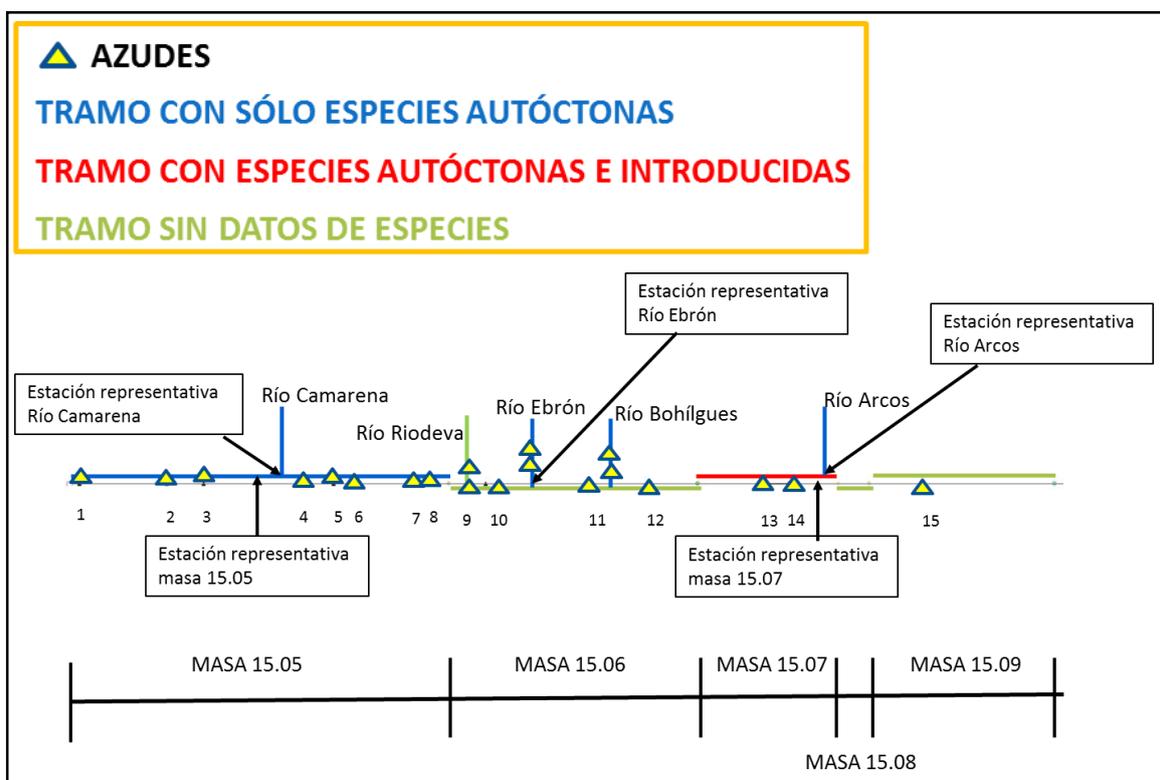


Figura 20. Análisis de especies en Turia y afluentes

Todas las estaciones de los afluentes se encuentran en las desembocaduras de los mismos, mientras que las del río Turia en las masas 15.05 y 15.07 se encuentran aguas arriba de sus afluentes (en la 15.05, del río Camarena y en la 15.07, del río Arcos).

El río Riodeva tan sólo tiene un azud 2,8 km aguas arriba de su desembocadura en el Turia.

El río Ebrón tiene 2 azudes próximos a su desembocadura, uno a 1,6 km y otro a 2,8 km.

El río Bohílgués o Vallanca dispone de 3 azudes cercanos a su conexión con el Turia, a 2,5 km, 3,2 km y 3,9 km.

Tanto el río Camarena como el Arcos no tienen azudes en toda su longitud.

Las estaciones nombradas anteriormente arrojan los siguientes datos (ordenadas de aguas arriba a aguas abajo):

RÍO	MASA	ESPECIES	AUTÓCTONA / INTRODUCIDA	CONTEO	IBI
Río Turia	15.05	TRUCHA COMÚN	AUTÓCTONA	4	44,8
Río Camarena	15.05.01.01	TRUCHA COMÚN	AUTÓCTONA	1	47,3
		BARBO MEDITERRÁNEO	AUTÓCTONA	1	
Río Ebrón	15.06.02.01	TRUCHA COMÚN	AUTÓCTONA	9	56,7
Río Bohígues	15.06.03.01	TRUCHA COMÚN	AUTÓCTONA	57	96,6
		ANGUILA	AUTÓCTONA	4	
Río Turia	15.07	BARBO MEDITERRÁNEO	AUTÓCTONA	1	31,7
		MADRIJA	AUTÓCTONA	3	
		ALBURNO	INTRODUCIDA	2	
		GOBIO	INTRODUCIDA	1	
Río Arcos	15.07.01.01	TRUCHA COMÚN	AUTÓCTONA	13	68,8
		BARBO MEDITERRÁNEO	AUTÓCTONA	1	

Tabla 40. Valores del IBI en el Turia y afluentes

Veamos cómo ha sido la evolución del IBI para estas 6 masas de agua desde el 2006 al 2011, donde se tomaron datos 3 veces: en 2006, 2009 y 2011.

MASAS	IBI 2006	IBI 2009	IBI 2011
15.05	87	64	44,8
15.05.01.01	-	85	47,3
15.06.02.01	95	95	56,7
15.06.03.01	-	100	96,6
15.07	58	74	31,7
15.07.01.01	100	95	68,8

< 20	MALO
20 - 40	DEFICIENTE
41 - 60	MODERADO
61 - 80	BUENO
81 - 100	MUY BUENO

Tabla 41. Evolución del IBI en los últimos años

Aunque en 2011 hay una masa con un valor de IBI muy bueno (río Bohígues), una buena (río Arcos), tres moderadas (masa 15.05 del río Turia, río Camarena y río Ebrón) y sólo una con valor deficiente (masa 15.07 del río Turia), la evolución del valor de los IBI es tremendamente negativa, ya que los valores del 2009 eran todos buenos o muy buenos, por lo que ahora en 2016, sin datos desde 2011, si los valores han seguido la tendencia, puede que ese tramo del Turia y los afluentes esté en pésimo estado.

Tal como se observa en el esquema del inicio del punto 5.5, hay 3 colores que definen las características de las diferentes masas de agua con los datos obtenidos de las estaciones:

- Azul: tramo del río o afluente que sólo tiene especies piscícolas autóctonas y, por tanto su IBI está por encima del límite inferior (bueno), no existiendo para éste límite superior.
- Rojo: tramo del río o afluente que, además de especies piscícolas autóctonas, dispone de especies introducidas, estando su IBI por debajo del límite inferior (malo).
- Verde: tramo del río o afluente sin estación representativa, por tanto, no hay datos de peces y, consecuentemente, tampoco de IBI.

Con todos estos datos y dependiendo de la localización de los azudes, en algunos tramos que no existen datos por no tener estación representativa se puede deducir si tiene un IBI bueno o malo:

- El tramo entre el final de la masa 15.05 y el azud número 9, aunque es muy corto, se supone que también tendrá un IBI bueno porque el fin de una masa no es un obstáculo para una especie piscícola. Sí lo es un azud, en este caso, el número 9, que corresponde con al azud Rambla de San Sebastián.
- El bajo valor del IBI de la masa 15.07 debido a la presencia de especies piscícolas introducidas hace pensar que éstas se desplacen aguas arriba y aguas abajo de los límites de la masa 15.07 hasta el siguiente obstáculo. Así, el IBI sería malo desde el azud 12 (Camino) hasta el 15 (Molino Marqués).
- Los buenos valores de IBI que existen en todos los afluentes con estación representativa, sobretodo en el río Ebrón y el río Bohígues, presagia que del azud 9 (Rambla de San Sebastián) al azud 12 (Camino) también haya un buen valor del IBI.
- Aguas abajo del azud 15 (Molino Marqués) no hay indicadores suficiente para estimar si el IBI es bueno o malo, por lo que se dejará desconocido.

Tras todas estas estimaciones, el esquema visto anteriormente quedaría:

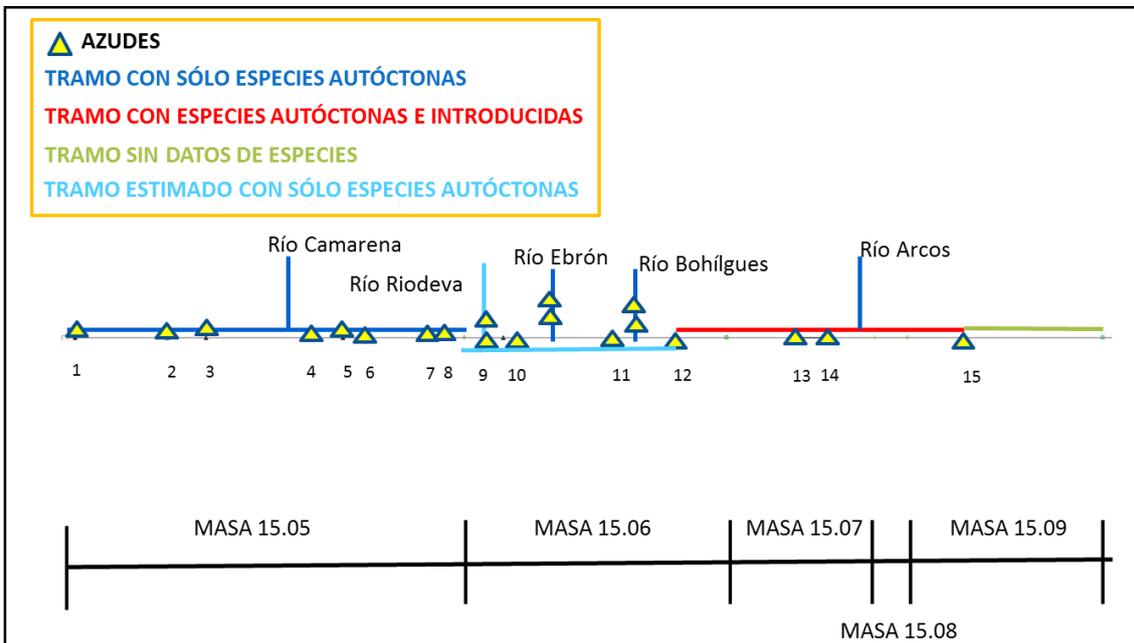


Figura 22. Estimación de especies piscícolas



Figura 21. Especies autóctonas

INTRODUCIDAS



Alburno



Gobio

Figura 23. Especies introducidas

6. Propuesta de actuación.

Con ayuda de los resultados obtenidos hasta ahora, se aborda una actuación recomendada en 3 fases, exponiendo las razones y puntos de vista posibles, como las mejoras, costes, etc.

Como se ha visto en el punto 5.5, las zonas del río en las que no hay estaciones representativas y, por tanto, no hay datos de especies, se puede estimar el estado de las masas.

El esquema inicial es el siguiente:

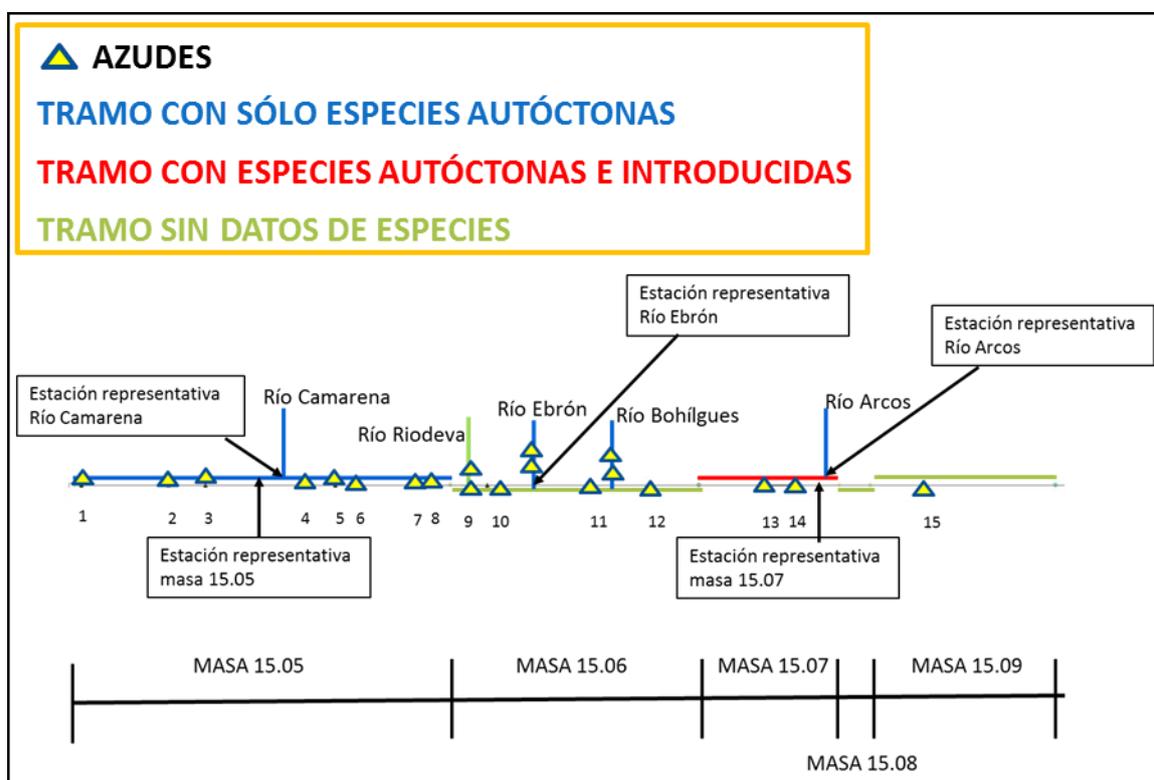


Figura 24. Especies piscícolas

Pero tras las deducciones y estimaciones del punto 5.5, esquema anterior quedaría así:

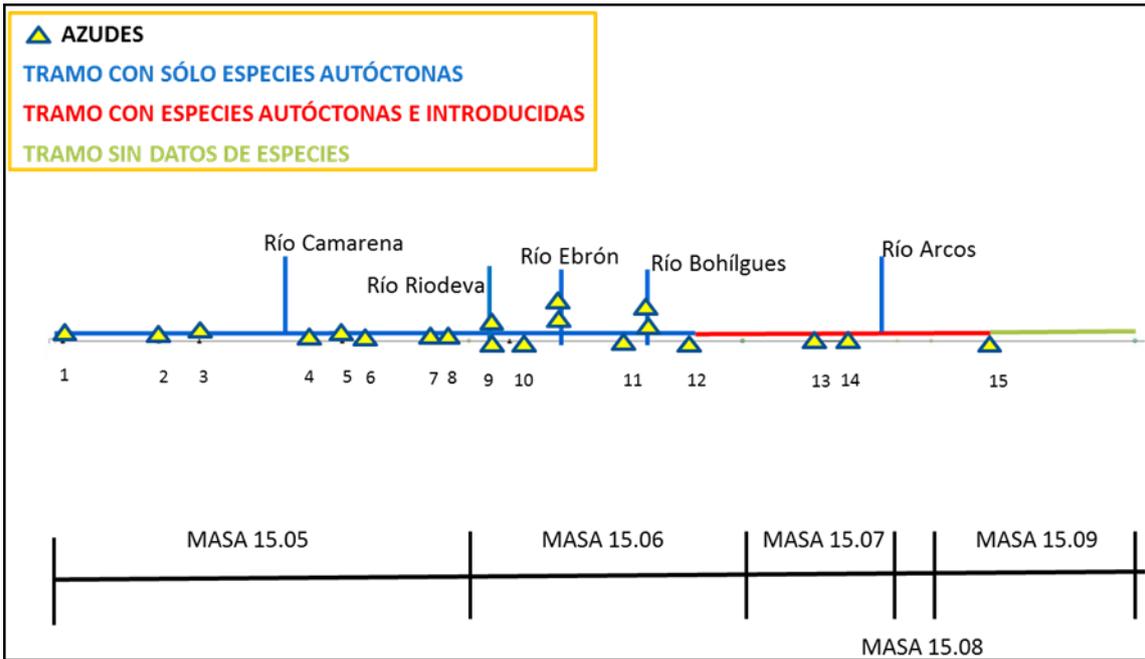


Figura 25. Estimación de especies piscícolas

Este esquema servirá de base para abordar la conclusión final global, en la que se expone la actuación a llevar a cabo.

6.1. Fase 1.

En primer lugar hay que elegir sobre qué azudes o zona se va a actuar y por qué.

Ya que el esquema anterior es un gráfico, cuyas zonas sin datos se han estimado, a pesar de que se han deducido a través de razonamientos lógicos, podría existir algún fallo o inexactitud que minara la efectividad de la actuación.

A simple vista se ve como la mayor densidad de azudes se encuentra entre el azud número 4 (El Campo) hasta el azud número 10 (Carretera) o incluso el número 12 (Camino).

Para elegir los azudes sobre los que actuar, se han tenido en cuenta los dos párrafos anteriores, de forma que se ha descartado actuar sobre los azudes 11 (Pueblo) y 12 (Camino) por su proximidad a una zona con un valor de IBI por debajo del límite inferior. Como se desconoce si estos valores negativos pudieran extenderse un poco más de lo que se ha estimado, es mejor quedarse del lado de la seguridad.

Mejorando la continuidad longitudinal, actuando sobre los azudes 4 (El Campo), 5(El Campo 2), 6 (Libros), 7(Rambla de Libros), 8 (Puente Riodeva), se obtendría una continuidad longitudinal en ese tramo de 22,2 km, debiendo añadir 24 km que se conseguirían por la continuidad del río Turia con el río Camarena, al no haber ningún azud en este afluente, sumando un total de 46,2 km.

Como se ha observado, el efecto remanso sólo desaparece con la eliminación total del azud, pero ya hemos concluido que este efecto no es significativo.

Lo realmente importante es el efecto barrera, que se puede solucionar con la eliminación o la permeabilización.

Para que pueda eliminarse el azud debe estar en desuso, pero ninguno de los azudes encontrados en este trabajo se encuentra en esta situación, por lo que la solución a adoptar en todos los azudes en los que se ha decidido actuar será la permeabilización, concretamente mediante escala de peces.

El coste de esta primera actuación en estos 5 azudes sería de:

AZUD	ALTURA (m)	DESNIVEL LÁMINA AGUA (m)	LONGITUD EN CORONACIÓN (m)	COSTE AJUSTADO PERMEABILIZACIÓN (€)
El Campo	2	1,753	12	46.129
El Campo 2 (Vilhel)	-	-	-	-
Libros	2	1,72	15	45.187
Rambla de Libros	2	1,253	12	32.028
Puente Riodeva	1,5	1,115	10	28.215
TOTAL				151.559

Tabla 42. Coste fase 1 de la actuación

El coste de permeabilización del azud El Campo 2 no se puede presupuestar porque no se dispone de datos de altura de azud ni desnivel de lámina de agua, pero como se observa, tanto el azud de aguas arriba como el de aguas abajo tienen un coste similar (la media es de 45.658 €). Asignándole este coste a El Campo 2, el presupuesto total de permeabilización de los 5 azudes en esta primera fase sería de 197.217 €.

6.2. Fase 2.

Una vez realizada la fase 1, convendría esperar el tiempo necesario para observar y medir los efectos exactos provocados, concretamente respecto de las especies piscícolas y el IBI.

En el caso de que la estación representativa de la masa 15.05 arrojarase valores mejores, se procedería a llevar a cabo la fase 2. Ésta comprendería los azudes 1 (Estación Renfe), 2 (Villastar) y 3 (Villel), de forma que se mejoraría la continuidad longitudinal hasta Teruel, añadiendo 10,5 km a los 22,2 km del río Turia y los 24 km del río Camarena, para un total de 56,7 km.

El coste sería el siguiente:

AZUD	ALTURA (m)	DESNIVEL LÁMINA AGUA (m)	LONGITUD EN CORONACIÓN (m)	COSTE AJUSTADO PERMEABILIZACIÓN (€)
Estación Renfe	1,5	1,095	33	27.665
Villastar	3	2,619	22	71.353
Villel	2,5	2,184	20	58.574
TOTAL				157.593

Tabla 43. Coste fase 2 de la actuación

En este caso, el coste total de la permeabilización de los 3 azudes sería de 157.593 €.

6.3. Fase 3.

Al igual que tras realizar la fase 1, una vez acabada la fase 2 también cabría esperar cierto tiempo para verificar y comprobar el efecto producido por las medidas adoptadas.

En caso de mejores valores, valorando la actuación como positiva, se llevaría a cabo la fase 3. En esta parte, los azudes a permeabilizar serían el 9 (Rambla de San Sebastián) y el 10 (Carretera), ya próximos a la zona con valores de IBI por debajo de lo considerado como bueno.

El coste sería de:

AZUD	ALTURA (m)	DESNIVEL LÁMINA AGUA (m)	LONGITUD EN CORONACIÓN (m)	COSTE AJUSTADO PERMEABILIZACIÓN (€)
Rambla San Sebastián	1	0,829	10	20.446
Carretera	0,5	0,329	10	7.491
TOTAL				27.938

Tabla 44. Coste fase 3 de la actuación

Esta fase 3 tendría un presupuesto de 27.928 € para permeabilizar los dos azudes que aumentarían la continuidad 10,1 km, llegando a los 66,8 km entre las 3 fases, para un coste total de 337.090 €.

Para comprobar la validez de la actuación en esta fase 3, al encontrarse los azudes en la masa 15.06, sería preciso disponer de una estación de muestreo representativa de esta masa de agua.

7. Conclusiones.

Primero se redactará un resumen del trabajo y después se citarán los resultados, mejoras y posibles actuaciones a llevar a cabo para cada punto en concreto.

En este Trabajo Final de Grado se presentan los problemas y efectos que ejercen los azudes sobre la fauna piscícola y el río, cuantificándolos y proponiendo una mejora.

En este tramo del Turia, dividido en 5 masas de agua diferentes, se encuentran 15 azudes, cuyo efecto barrera supone un problema de franqueabilidad para la ictiofauna, proporcionando un valor del Índice de Integridad Biótica (IBI) cada vez menor en el transcurso de los últimos años, reflejando un empeoramiento de la calidad biológica del agua.

Ante estos problemas existen dos posibles soluciones frente a los azudes: la eliminación o la permeabilización. La eliminación no está permitida porque todos los azudes se encuentran en uso, concretamente para riego. Por esta razón, la solución prevista en la que se basa la actuación propuesta es la permeabilización mediante una escala de artesas.

Las escalas de artesas o de estanques sucesivos son unas estructuras que disponen de una especie de escaleras dentro del agua con peldaños de 20-30 cm, circulando el caudal por vertederos, orificios y/o hendiduras verticales. Esta solución es ideal para superar todos los azudes presentes, ya que son pequeños (menores de 5 metros).

El problema de esta solución es que las escalas de artesas permiten el paso de todas las especies piscícolas presentes, sean autóctonas o introducidas, por lo que es conveniente actuar sólo en las zonas donde estemos seguros de que la fauna piscícola es autóctona, de lo contrario estaríamos favoreciendo la propagación de la ictiofauna introducida, reduciendo los valores de IBI y perjudicando la calidad biológica del agua.

Por esta razón se ha propuesto una actuación dividida en 3 fases para mejorar el estado del río, consiguiendo una continuidad de 42,8 km más los 24 km del río Camarena, sumando un total de 66,8 km. El coste total de toda la actuación es de 337.090 €.

Del apartado de “Antecedentes”, ya podemos proponer ciertas mejoras. Respecto de los datos del IBI, obtenido gracias al muestreo de las especies piscícolas, hay más masas de agua que no disponen de datos (15.06, 15.08 y 15.09) que las que sí tienen (15.05 y 15.07). Por esta razón, ya que el análisis global del trabajo depende en gran medida de dónde y qué especies hay, es vital disponer de más estaciones de muestreo representativas de todos los tramos de río que se vayan a estudiar.

Además, sería conveniente ir actualizando los datos y valores del inventario de azudes, ya que de 15 azudes que hay en este tramo de río Turia estudiado, de dos (El Campo 2 y Azud del Molino) no se dispone ningún tipo de dato acerca de la altura o desnivel de lámina de agua.

Se ha descubierto la poca afección del efecto remanso de los azudes a la continuidad longitudinal del río y a las especies. Su longitud no es significativa, e incluso donde más azudes hay y más notorio es este efecto (en la masa 15.05), sólo hay especies piscícolas autóctonas (trucha común).

También en este apartado se ha observado que el porcentaje de mejora total (efecto barrera más efecto remanso) de las soluciones propuestas para los azudes, es mayor, de media, en los azudes que se encuentran en la parte final del tramo de estudio.

Respecto a la comparación presupuestaria entre la Estrategia Nacional de Restauración de Ríos y la Guía Técnica del CEDEX para comprobar si las fórmulas de cálculo de presupuestos de ésta última se ajustan a la realidad, se concluye que:

- Para la eliminación de barreras: la Guía sólo permite calcular la demolición (sin transporte) y para calcular el coste total de la eliminación se debe multiplicar este valor por 4,26 para añadir el coste de las partidas restantes (transporte, excavación, cánones, etc.)
- Para la permeabilización de barreras: la Guía calcula el coste total de la actuación, pero los valores obtenidos no se ajustan mucho a la realidad, ya que las condiciones del entorno, la geografía y topografía particular de la situación del azud hacen fluctuar este presupuesto. En general, para un azud de unas dimensiones cercanas a la media (2 m de alto y 20 m de ancho), el resultado de la fórmula de la Guía se debe reducir en un 40 % para que el valor se ajuste más a la realidad.

Pero de entre todas las conclusiones que se han podido extraer con este trabajo, quizá la más importante sea la necesidad de una actualización de los datos IBI, ya que los últimos corresponden a 2011, hace ya 5 años, cuando de 2009 a 2011 (en sólo 2 años) la tendencia de los valores era malísima, presagiando un pésimo estado del río Turia y sus afluentes como no se cambiara mediante alguna actuación.

8. Líneas futuras.

Las líneas futuras deberán ir encaminadas a lo iniciado en este trabajo y expuesto en las conclusiones.

Lo primero, dada la importancia de los datos que arrojan las estaciones representativas de las masas de agua, no se debería dejar tanto tiempo entre una toma de datos y la siguiente. El plazo propuesto para la actualización de los datos es de 2 años. Como se ha visto anteriormente, 2 años son más que suficiente para observar un posible cambio significativo del IBI (ver tablas de IBI para los años 2009 y 2011). Estas tablas reflejaban una tendencia muy negativa en los datos del IBI, por tanto, lo primero que se debería realizar sería una nueva toma de datos y, en caso de certificar la tendencia de 2011, actuar de inmediato.

Además de este plazo de 2 años, se deberá medir el IBI justo antes de llevar a cabo una actuación, parcial o completa.

Sería conveniente realizar campañas especiales de control de especies introducidas, registrándolas y analizando el porqué de la aparición de las mismas, qué condiciones permiten que se instalen en el río y cómo acabar con ellas sin afectar a las especies autóctonas.

Por último, pero no menos importante, haría falta estudiar los azudes de los afluentes del Turia, sobre todo los más cercanos al encuentro con el cauce principal para ver si suponen una barrera para los peces.

En el caso del tramo del río Turia estudiado, los afluentes tienen buenos valores de IBI, mejores que los del propio río principal, por lo que si los azudes que se encuentran en los afluentes resultan infranqueables para las especies, no podrá realizarse correctamente la aportación de especies autóctona, no mejorando los valores del IBI.

No siempre los valores del IBI en los afluentes son mejor que los del cauce principal. En el caso de que existan especies introducidas en los afluentes, la presencia de azudes en los mismos provocará un efecto barrera que impedirá el paso, no empeorando el valor del IBI.

Por estas razones hay que valorar si conviene o no la franqueabilidad de los azudes.

9. Referencias.

CEDEX, 2009. “Guía técnica para la caracterización de medidas”. Por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, Noviembre de 2009.

CHJ, 1998. “Plan Hidrológico de cuenca del Júcar”. Aprobación por Real Decreto 1664/1998 (BOE 11 agosto) de 24 de julio por el que se aprueban los Planes Hidrológicos de cuenca.

CHJ, 1999. Publicación del contenido normativo del Plan Hidrológico del Júcar por Orden del Ministerio de Medio Ambiente de 13 de agosto de 1999 (BOE 27 agosto).

CHJ, 2011. “Explotación de la red biológica de control de la calidad de las aguas en el ámbito de la CHJ (ríos)”. Informe campaña otoño 2011.

CHJ, 2014. “Plan Hidrológico de cuenca del Júcar”. Aprobación por Real Decreto 595/2014, de 11 de julio.

CHJ, 2016. “Plan Hidrológico de cuenca del Júcar”. Aprobación por Real Decreto 1/2016, de 8 de enero.

DGA, 2014. “Propuesta de índice de Plan hidrológico (2015-2021) con los contenidos derivados de la Guía de Reporting DMA 2016”.

DGOH, 1987. “Actualización del inventario de recursos hidráulicos y de disponibilidades de agua de la cuenca hidrográfica del Júcar”.

DGOH, 1989a. “Actualización del Inventario de Recursos Hidráulicos y disponibilidades de la Cuenca del Júcar”.

DGOH, 1989b. “Evaluación de las demandas ambientales en puntos críticos de la cuenca y elaboración de un modelo de gestión de los recursos del sistema Júcar-Turia”.

DGOH, 1990a. “Análisis de la gestión de los recursos hidráulicos del sistema Júcar-Turia.

DIHMA, 2001. “Implantación en la CHJ de Herramientas de decisión en materia de Explotación de Recursos Hídricos”. Área de Explotación de CHJ.

DMA, 2000. “Directiva Marco del Agua”. Octubre de 2000.

ENRR, 2011. “Proyecto de mejora de la conectividad longitudinal y restauración en el tramo medio del río Turia (de Teruel a Libros)”. Febrero de 2011.

IPH, 2011. “Instrucción de Planificación Hidrológica”. Aprobación por Orden ARM/1195/2011, de 11 de mayo.

MOPU, 1990. “Unidades hidrogeológicas de la España Peninsular e Islas Baleares”. Síntesis de sus características y mapa a escala 1:1.000.000. del Servicio Geológico de Obras Públicas e Instituto Geológico y Minero de España, Diciembre de 1990.

OPH, 2001a. “Revisión y actualización de los recursos hídricos superficiales del río Turia”, realizado por la Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Júcar.

OPH, 2001c. “Análisis y Revisión de los principales suministros superficiales del río Turia”

PCH, 2015. “Protocolo de Caracterización Hidromorfológica de masas de agua de la categoría ríos”. Diciembre de 2015.

S.I.A. Júcar, 2014. “Sistema de Información del Agua”. Julio de 2014.