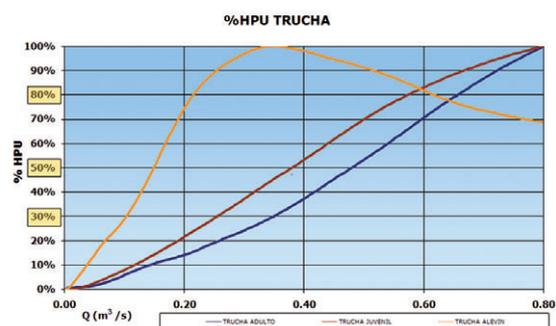


CONCEPTOS Y MÉTODOS SOBRE EL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS



I. Introducción

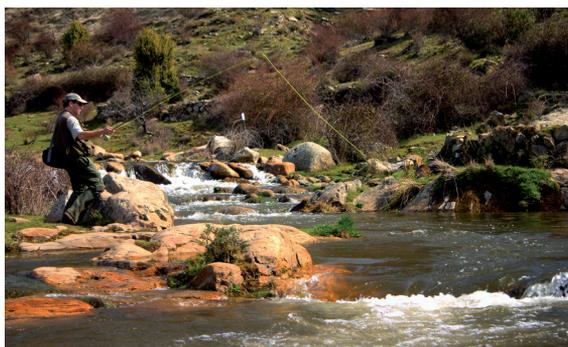
La protección del medio ambiente es una obligación de nuestro tiempo, en el que se ha producido la mayor degradación en hábitats y especies desde que el hombre está presente sobre el planeta. Esta demanda social ya está presente en algunas directivas europeas, la más importante para los ríos es la Directiva Marco del Agua, (DMA), 2000/60/CE.

La DMA, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas europea, introduce la obligación de realizar un complejo proceso de planificación hidrológica en todas las cuencas europeas y regula objetivos y características del mismo. Establece una serie de objetivos medioambientales cuyo cumplimiento debe asegurar la disponibilidad de recursos en cantidad y calidad suficientes, siendo uno de los objetivos finales asegurar el buen estado ecológico o buen potencial ecológico de las masas de agua para el 2015. Para ello es necesario que los ecosistemas asociados a los cursos fluviales tengan una estructura y un funcionamiento hidromorfológico adecuado.

Con más de 1.200 grandes presas que aprovechan los recursos para la producción de alimentos (mediante el riego), el suministro urbano industrial, y la generación de energía eléctrica; así como un número más elevado de pequeñas presas y azudes, España se sitúa como uno de los países con mayor presión sobre los recursos hídricos y los ecosistemas asociados.

Por todo ello, se hace imprescindible establecer una armonización de los usos con el mantenimiento de la funcionalidad de los ecosistemas, evitando su deterioro. Por este motivo se ha establecido la necesidad de determinar el régimen de caudales ecológicos en los planes hidrológicos de cuenca, entendiendo que este régimen es una restricción impuesta con carácter general a los Sistemas de Explotación.

En el Reglamento de Planificación Hidrológica se define como caudal ecológico *aquel que contribuye a alcanzar el buen estado o buen potencial ecológico en los ríos o en las aguas de transición y mantiene, como mínimo, la vida piscícola que de manera natural habitaría o pudiera habitar en el río, así como su vegetación de ribera.*



Un caudal circulante por un cauce puede considerarse ecológico si asegura el mantenimiento del patrimonio hidrobiológico y sociocultural del medio fluvial, de forma compatible con la necesidad de abastecimiento doméstico y de suministro agrícola e industrial. Además, deberá de ser representativo de la variabilidad natural del régimen de caudales del río y habrá de contemplar el correcto funcionamiento de las diversas componentes asociadas al ecosistema fluvial, entre las que destacan: la flora y fauna, la calidad físico-química de las aguas superficiales y subterráneas, el dinámico equilibrio geomorfológico del sistema y el conjunto de valores sociales, culturales y paisajísticos del río. (Magdaleno, F., 2005)

2. Objeto de la Publicación

Esta publicación intenta acercar al público interesado en el proceso de planificación hidrológica, la definición del régimen de caudales ecológicos, contextualizando el mismo en la legislación española y explicando someramente la importancia ambiental de cada una de las componentes. También se pretende divulgar la metodología seguida en los estudios técnicos realizados para su inclusión en los planes hidrológicos de cuenca.

Los estudios técnicos realizados para la determinación del régimen de caudales ecológicos por la Subdirección General de Planificación y Uso Sostenible del Agua (SGPUSA) en las cuencas intercomunitarias y, en particular, por la Confederación Hidrográfica del Tajo en su cuenca, contemplan:

- Distribución temporal de caudales mínimos, para todas las masas de agua de la cuenca, en ríos permanentes y no permanentes (después de la clasificación de los mismos en efímeros, intermitentes y estacionales).
- Establecimiento del régimen de relajación de caudales en situaciones de sequía prolongada.

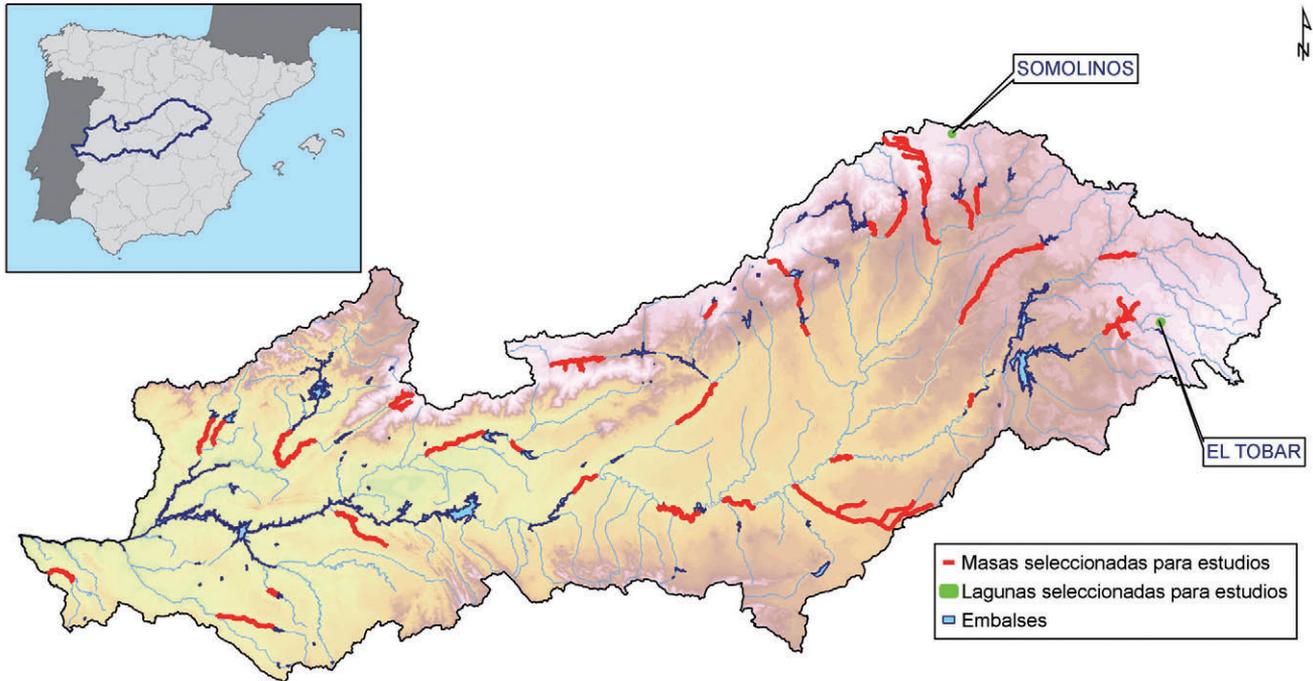
- Caudales generadores y tasas de cambio para todas las masas de agua.
- Distribución temporal de los caudales máximos aguas abajo de grandes infraestructuras de regulación.
- Determinación de las necesidades ecológicas en lagos y humedales.
- Estudios de vegetación de ribera para conocer la evolución de la vegetación en función de los caudales implementados.

La metodología empleada se ha desarrollado a partir de la Instrucción de Planificación Hidrológica (IPH) y de la Guía Metodológica de Caudales Ecológicos, desarrollada por la SGPUSA.

En este documento se comentan, a modo de ejemplo, los estudios realizados en la cuenca hidrográfica del Tajo. Por último, se presenta una ficha resumen dos tramos de río, con el cálculo de cada una de las componentes del régimen de caudales ecológicos.

COMPONENTES DEL RÉGIMEN DE CAUDALES:

- Caudales mínimos
- Caudales mínimos en época de sequía prolongada
- Caudales máximos
- Distribución temporal de los anteriores: mínimos y máximos
- Caudales de crecida o generadores
- Tasas de cambio



En la cuenca hidrográfica del Tajo hay 309 masas de agua superficiales de categoría ríos.

En todas se han hecho estudios de caudales mínimos ecológicos por métodos hidrológicos y determinación de caudales generadores. Se han caracterizado 32 tramos mediante métodos hidrobiológicos, índices de vegetación, y régimen de caudales máximos.

También han sido estudiados dos lagos previamente seleccionados.

3. Los Caudales Ecológicos en la Legislación Española

Las normas legales han ido evolucionando al igual que el pensamiento sobre la definición e importancia de los caudales ecológicos. En el

cuadro siguiente se ofrece un resumen de las más relevantes. La última de ellas es la IPH, norma especialmente avanzada en este tema.

LEY DE PESCA FLUVIAL 1942

- Art.4: (...) *Se construirán escalas salmoneras o pasos, en las presas y diques edificadas en las masas acuícolas y que se opongan a la circulación de aquéllos, siempre que lo permitan las características de dichos obstáculos y sean necesarios para la conservación de las especies (...).*

- Art. 5: Establece la obligación de dejar un caudal mínimo en las épocas de paso para aquellos concesionarios de aprovechamientos hidráulicos en cuyos embalses lleven las presas escalas salmoneras.

LEY DE AGUAS R.D. 29/1985

- No incluye la definición de caudales ecológicos, pero si que hace referencia a los mismos.

- En el art. 57: *Se consideran como una restricción con carácter general a los sistemas de explotación, aplicando siempre la regla sobre supremacía del uso para abastecimiento de poblaciones, y además, éstos se fijarán en los planes hidrológicos de cuenca. Para su establecimiento, los Organismos de cuenca realizarán estudios específicos para cada tramo de río (...).*

REGLAMENTO DOMINIO PÚBLICO HIDRÁULICO, R.D. 849/1986

-En el art. 115.2 dice que toda concesión deben de exigirse caudales mínimos que respetar para usos comunes o por motivos sanitarios o ecológicos, si fueran precisos.

PLANES HIDROLÓGICOS DE CUENCAS, R.D. 1664/1998

-Apartado c, art. 2: *Los caudales ecológicos ó demandas ambientales establecidos en los planes no tendrán el carácter de usos (...) debiendo considerarse como una restricción (...). En todo caso, en el análisis de los sistemas de explotación será aplicable a los caudales medioambientales la regla sobre supremacía del uso para abastecimiento de poblaciones, recogida en (...) la Ley de Aguas (...).*

TEXTO REFUNDIDO DE LA LEY DE AGUAS, R.D. 1/2001

-Art. 59.7: Dice que los caudales ecológicos no tendrán el carácter de uso, debiendo considerarse como una restricción que se impone con carácter general a los sistemas de explotación. También que se les aplicará la regla sobre supremacía del uso para abastecimiento de poblaciones, y que serán fijados en los Planes Hidrológicos de cuenca, y para ello, los organismos de cuenca realizarán estudios específicos para cada tramo de río.

PLAN HIDROLÓGICO NACIONAL, LEY 11/2005

-Art. 42.1bc': *La asignación y reserva de recursos para usos y demandas actuales y futuros, así como para la conservación y recuperación del medio natural. A este efecto se determinarán: Los caudales ecológicos, entendiéndose como tales los que mantiene como mínimo la vida piscícola que de manera natural habitaría o pudiera habitar en el río, así como su vegetación de ribera.*

REGLAMENTO DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA, R.D. 907/2007

-El art. 3 define como *aquel que contribuye a alcanzar el buen estado o buen potencial ecológico en los ríos o en las aguas de transición y mantiene, como mínimo, la vida piscícola que de manera natural habitaría o pudiera habitar en el río, así como su vegetación de ribera.*

-Art. 18: Este régimen de caudales ecológicos se establecerá de modo que permita mantener de forma sostenible la funcionalidad y estructura de los ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados (...).

INSTRUCCIÓN DE PLANIFICACIÓN HIDROLÓGICA, ARM/2656/2008

-En el capítulo 3.4 se define el proceso de establecimiento del régimen de caudales ecológicos.

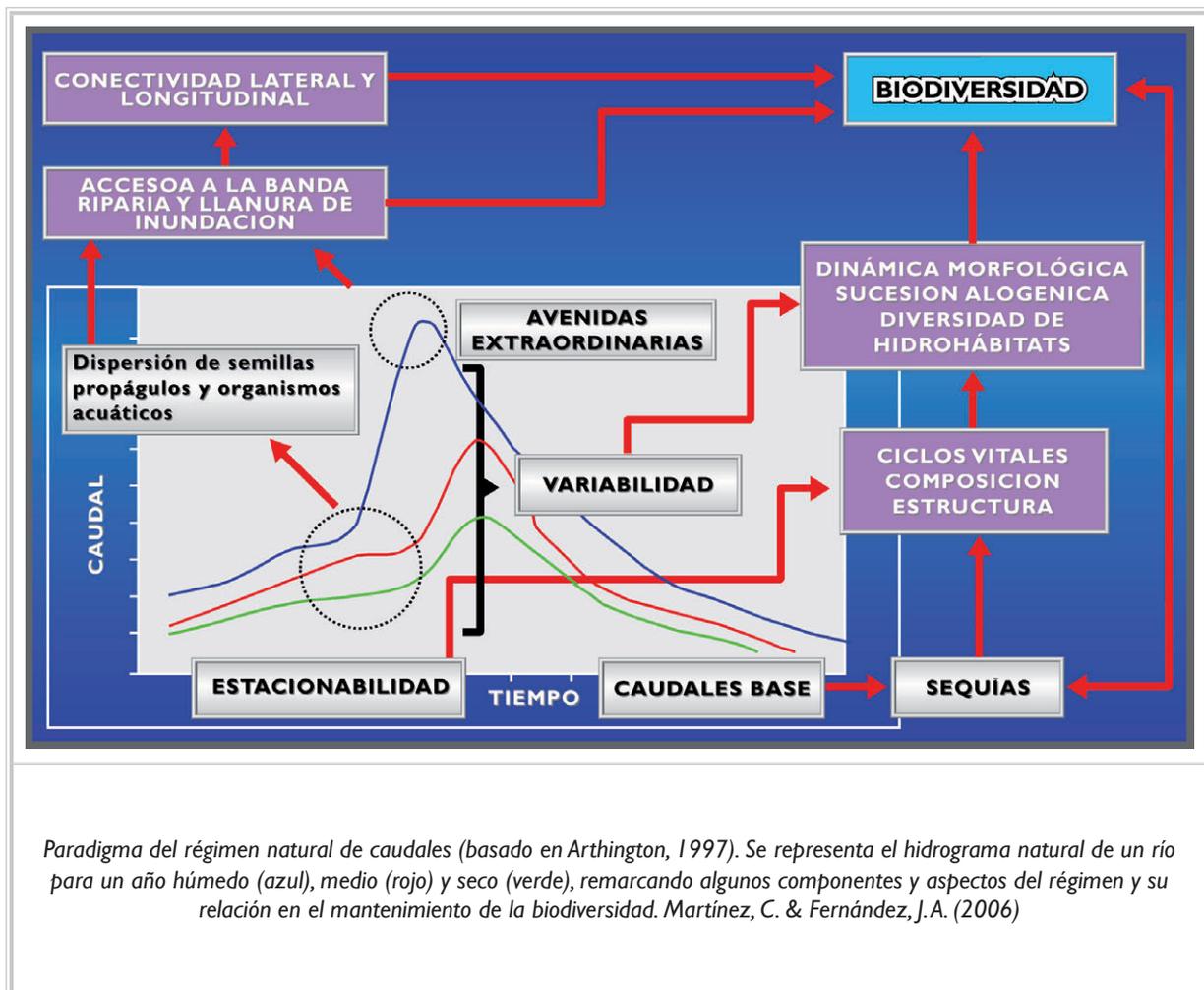
-El ámbito espacial para la caracterización del régimen de caudales ecológicos se extenderá a todas las masas de agua superficial clasificadas en la categoría de ríos o aguas de transición. También tienen un apartado de caracterización de los requerimientos hídricos ambientales de las masas de agua de categoría de lagos y otra para aguas de transición.

4. Influencia del Régimen de Caudales en el Ecosistema Fluvial

Las infraestructuras de regulación modifican el régimen de caudales naturales de un río, lo que influye en el elemento vertebrador del ecosistema fluvial, ya que todas las especies del mismo han evolucionado y se han adaptado a lo largo del tiempo a las condiciones marcadas por el régimen natural del río. El rango de variación intra e interanual del régimen, con sus características asociadas de estacionalidad, duración, frecuencia

y tasa de cambio, son críticas para sustentar la biodiversidad natural y la integridad de los ecosistemas acuáticos (Poff et al, 1997).

Por ello es imprescindible el adecuar un régimen de caudales ecológicos que tenga en cuenta, además de un valor de caudal mínimo variable a lo largo del año, las otras componentes del régimen.

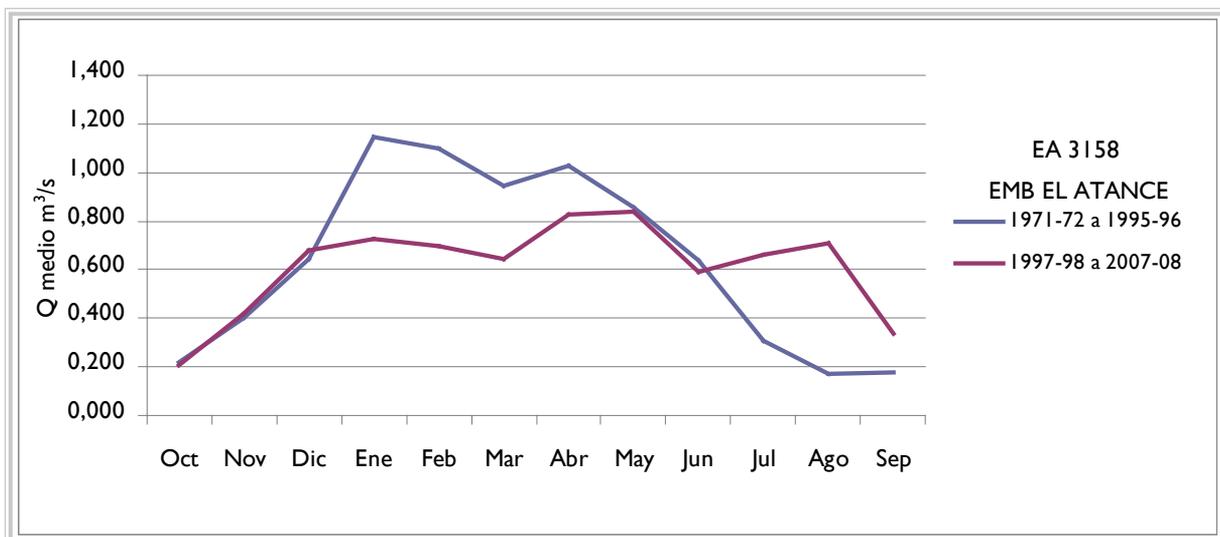


- El régimen natural de caudales es el principal agente estructurador del hábitat físico, el cual a su vez condiciona la riqueza y diversidad en especies.
- Las alteraciones en el régimen natural de caudales pueden suponer la alteración en los ciclos de vida de numerosas especies.
- El mantenimiento de la conectividad longitudinal y transversal es fundamental para garantizar la dinámica poblacional y la supervivencia del ecosistema.
- La alteración del régimen natural favorece la intromisión y el éxito en el establecimiento de especies exóticas.

Martínez, C. & Fernández, J.A. (2010)

La modificación mediante infraestructuras de cualquier tipo influye directamente en los factores que definen el régimen, alterando las características físicas del hábitat natural y estableciendo nuevas condiciones a los que la biota nativa puede adaptarse con más o menos dificultad (Lytle, D. et al, 2004).

En la gráfica se presenta el ejemplo del efecto regulador del embalse de riego El Atance, sobre el régimen circulante del río. Véase la diferencia entre magnitud y estacionalidad de los caudales después de la puesta en marcha del embalse (serie 1997-98 a 2007-2008) en cuanto al régimen natural (antes de la puesta en marcha del embalse, serie 1971-72 a 1995-96).



Embalse de Picadas

5. Régimen de Caudales Ecológicos en la IPH. Conceptos

Por todo lo que se ha explicado en el apartado anterior, es fundamental que el régimen regulado de caudales se aproxime al régimen de

caudales naturales de un río. En la IPH queda reflejada la importancia biológica que tiene cada uno de los regímenes de caudal.



IPH: Apartado 3.4.1.3. 1. Componentes del régimen de caudales ecológicos. Ríos.

El régimen de caudales ecológicos en el río debería de incluir, al menos, los siguientes componentes:

- a) **Caudales mínimos** que deben ser superados, con objeto de mantener la diversidad espacial del hábitat y su conectividad, asegurando los mecanismos de control del hábitat sobre las comunidades biológicas, de forma que se favorezca el mantenimiento de las comunidades autóctonas.
- b) **Caudales máximos que no deben ser superados en la gestión ordinaria de las infraestructuras**, con el fin de limitar los caudales circulantes y proteger así a las especies autóctonas más vulnerables a estos caudales, especialmente en tramos fuertemente regulados.
- c) **Distribución temporal de los anteriores caudales mínimos y máximos**, con el objetivo de establecer una variabilidad temporal del régimen de caudales que sea compatible con los requerimientos de los diferentes estadios vitales de las principales especies de fauna y flora autóctonas presentes en la masa de agua.
- d) **Caudales de crecida**, con objeto de controlar la presencia y abundancia de las diferentes especies, mantener las condiciones físico-químicas del agua y del sedimento, mejorar las condiciones y disponibilidad del hábitat a través de la dinámica geomorfológica y favorecer los procesos hidrológicos que controlan la conexión de las aguas de transición con el río, el mar y los acuíferos asociados.
- e) **Tasa de cambio**, con objeto de evitar los efectos negativos de una variación brusca de los caudales, como pueden ser el arrastre de organismos acuáticos durante la curva de ascenso y su aislamiento en la fase de descenso de los caudales. Asimismo, debe contribuir a mantener unas condiciones favorables a la regeneración de especies vegetales acuáticas y ribereñas.

A lo largo del tiempo han ido apareciendo conceptos asociados al término de caudales ecológicos que se pueden agrupar bajo el nombre genérico de caudales ambientales, entre los que se pueden destacar (Magdaleno, F., 2005):

Caudal de mantenimiento: se trata de un caudal calculado sobre el objetivo de la conservación de los valores bióticos del ecosistema fluvial.

Caudal mínimo: Hace referencia a un caudal capaz de mantener algunas de las funciones básicas del ecosistema fluvial.

Caudal de acondicionamiento: se trata de un caudal complementario al caudal mínimo o de mantenimiento, para una finalidad concreta, ajena a la conservación de los valores bióticos del ecosistema fluvial y referida a aspectos abióticos (dilución, paisaje, usos recreativos...)

Caudal de sequía: se define como un caudal muy reducido, propio de años secos, pero suficiente para mantener a las especies en un ecosistema, sin permitir necesariamente su reproducción.

Caudal de limpieza: es el caudal que mantiene las características específicas del sustrato, previniendo la invasión de la vegetación del cauce y removiendo la fracción más fina de partículas orgánicas e inorgánicas.

Caudal máximo: es el mayor caudal que debe circular por el tramo de río regulado y que no debe de ser superado al generar los caudales de mantenimiento, salvo en las grandes avenidas naturales.



Río Perales entre Valdemorillo y Navalagamella

6. Caudales Mínimos

Las diferentes herramientas para el cálculo de caudales ecológicos comenzaron a desarrollarse en EEUU a mediados del siglo pasado, con el objetivo inicial de estimar los caudales mínimos requeridos para una especie concreta generalmente de interés comercial o deportivo. Posteriormente los objetivos se fueron ampliando y, en la actualidad, se han desarrollado abarcando aspectos relacionados con la estructura y funcionamiento del ecosistema en su conjunto.

A lo largo de todo este tiempo se han utilizado diferentes metodologías para definir el régimen de caudales ecológicos, pudiéndose clasificar los más representativos en 4 grupos según la aproximación técnica desarrollada:

- **Enfoque hidrológico.** El cálculo del régimen de caudales ecológicos se basa en datos hidrológicos, tratándose de distintas formas (caudales clasificados, tanto por ciento del caudal medio, etc.) para establecer las recomendaciones de caudal. Son aplicables a distintas escalas desde la planificación hidrológica hasta la de tramos de río concretos; se realizan en gabinete y son rápidos, sencillos y poco costosos; pero requieren de datos de aforos disponibles y fiables. Se destacan dos métodos desarrollados en nuestro país, el método del QBM, Caudal Básico de mantenimiento (Palau, A. & Alcazar, J., 1996), y el método Q25 (Baeza D. et al., 2005).
- **Enfoque hidráulico.** El caudal ecológico se deduce de la relación entre algún parámetro hidráulico (normalmente el perímetro de mojado o la profundidad) y el caudal. Sólo admite aplicaciones locales, y son relativamente rápidos en su cálculo. Dentro de este grupo puede nombrarse el del Perímetro Mojado (Reiser, D.W. et al., 1989), uno de los de mayor aplicación a nivel mundial.
- **Enfoque hidrobiológico (de modelización de hábitats).** El caudal se deduce a partir de una cuantificación previa del hábitat físico de una especie de referencia (normalmente peces) y del análisis de su relación con el caudal mediante simulación hidráulica. En lugar del hábitat físico, algunos de estos métodos utilizan variables biológicas como la biomasa o la diversidad ecológica, de distintas comunidades naturales. Sólo admite aplicaciones a tramos concretos de ríos. Dentro de este grupo se encuentra la metodología IFIM (Instream Flow Incremental Methodology, Bovee K. D., 1982), la más utilizada en el mundo y una de las más populares en general en la definición y establecimiento de regímenes de caudales ecológicos.
- **Enfoque holístico.** Su principio básico es similar al de los métodos hidrológicos secuenciales, pero más que un método en sí, es un procedimiento o protocolo con el que el caudal de mantenimiento se deduce buscando una solución concensuada a partir de un análisis independiente de la magnitud y distribución del caudal que necesitan los componentes del ecosistema fluvial objetivo, sean aspectos abióticos (geomorfología, calidad del agua, etc.), ecológicos (comunidades naturales), preceptivos (paisaje), socioeconómicos o todos en conjunto. Es bueno como planteamiento metodológico, pero en la práctica su aplicación puede ser compleja en función de la heterogeneidad de los resultados parciales obtenidos para cada componente considerado. Como metodología representativa se puede citar la sudafricana "Building Block Methodology" (BBM, King J. M. & Tharme, R. E., 1994; King, J. M. & Louw, M. D. 1998).



**IPH: Apartado
3.4.1.4.1.1. Distribución
temporal de caudales
mínimos.**

Según la IPH, para el cálculo de caudales mínimos se utilizará métodos hidrológicos y métodos de modelización de hábitat. Esta distribución se obtendrá aplicando métodos hidrológicos y sus resultados deberán ser ajustados mediante la modelación de la idoneidad del hábitat en tramos fluviales representativos de cada tipo de río.

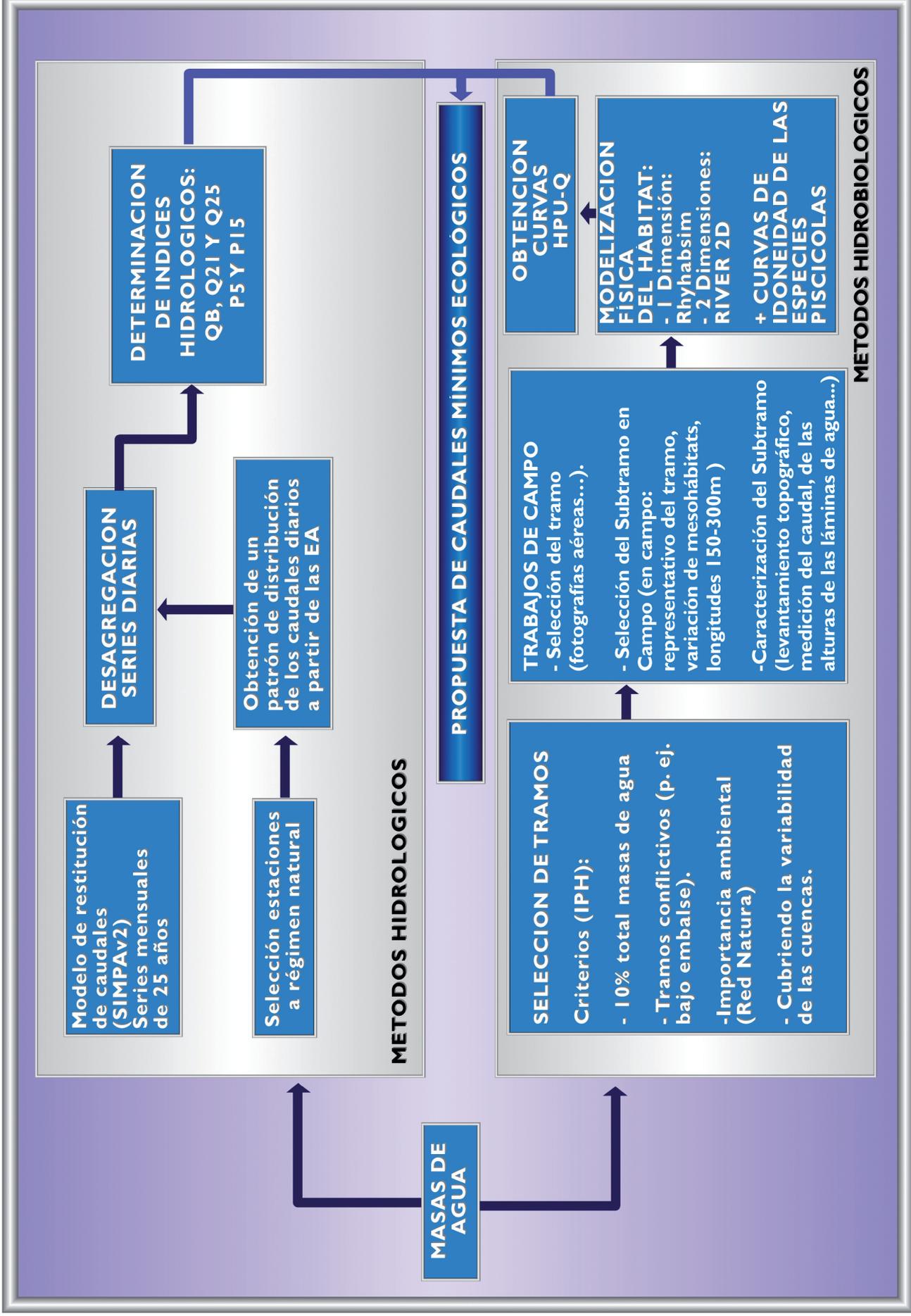
La determinación de los caudales mínimos en los estudios en la cuenca del Tajo se ha realizado mediante la aplicación de métodos hidrológicos, analizando series naturales de caudal, y la aplicación de métodos de simulación de hábitat, realizando estudios de simulación de los requerimientos hidráulicos de los hábitats piscícolas.

La propuesta de régimen de caudales ecológicos mínimos recoge una distribución a lo largo del año de los mismos, determinada mediante el ajuste de los resultados de simulación de hábitat con los métodos hidrológicos.



Batimetría en el río Alberche

PROPUESTA DE CAUDALES MINIMOS ECOLOGICOS



6.1. Métodos Hidrológicos



IPH: Apartado 3.4.1.4.1.1.1. Métodos hidrológicos

(...) mediante la aplicación de alguno de los siguientes criterios:

- La definición de variables de centralización móviles anuales, de orden único o variable. (...)
- La definición de percentiles entre el 5 y el 15% a partir de la curva de caudales clasificados, que permitirán definir el umbral habitual del caudal mínimo.

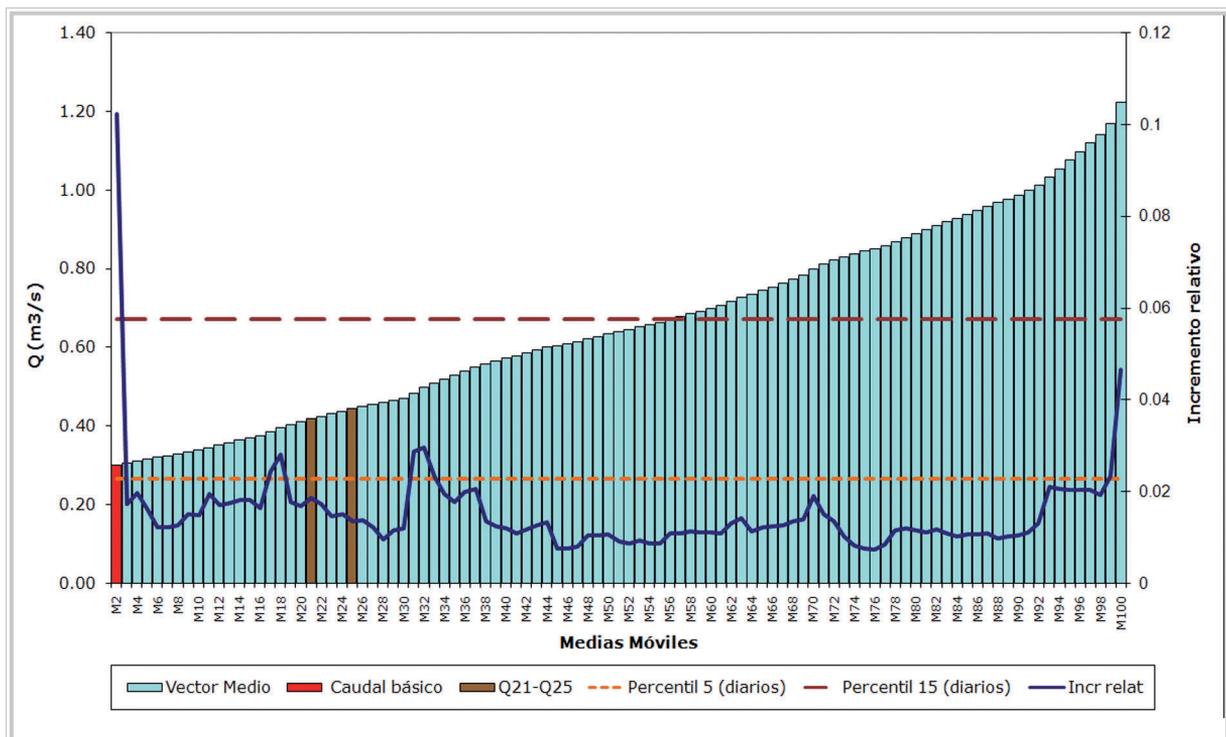
Estos criterios se aplicarán sobre una serie hidrológica representativa de al menos 20 años (...).

Los métodos hidrológicos para el cálculo de caudales mínimos se han aplicado a todas las masas de agua de la Confederación del Tajo, y se han definido mediante:

- **Percentiles entre el 5 y el 15** de la curva de caudales clasificados, ya que éstos permiten definir el umbral habitual del caudal mínimo.
- **Método del Caudal Básico (del método del QBM):** definido como el mínimo absoluto a mantener en el cauce, y que se calcula mediante medias móviles de orden variable, entre 1 y 100.

- **Medias móviles de orden único, 21 y 25**, corresponden a los 21 días y 25 días más secos del periodo. Son valores de caudal que ha circulado por el río durante un periodo largo de días.

Para la aplicación de estas metodologías ha sido necesario disponer de datos diarios en régimen natural, por lo que partiendo de los datos mensuales procedentes del SIMPA (modelo que permite valorar los caudales en régimen natural en una serie histórica), se realizó una desagregación aplicando una serie de patrones de distribución procedentes de las estaciones de aforo propias o lo más próximas posible a cada masa de agua.



En la gráfica se representan los diferentes índices hidrológicos calculados para todas las masas de agua

6.2. Métodos Hidrobiológicos o de Simulación de Hábitat

Parten de dos puntos básicos:

- Por un lado, de un **modelo hidráulico fluvial**, que indica como se relaciona el caudal con la hidromorfología del cauce (velocidad, profundidad, altura de la lamina de agua...). Para ello se selecciona un tramo del río representativo de la zona a estudiar, realizando un levantamiento topográfico del cauce y de la llanura de inundación. También se toman, al menos, datos de caudal, altura de lámina de agua, y sustrato.

Se tomarán, al menos, datos de velocidad, profundidad y sustrato. Además, para la calibración de la curva de gasto del modelo hidráulico, se requerirá de datos de altura de lámina de agua y caudal en, al menos, dos campañas de campo, con una variación en la magnitud de caudal considerable, en función de la hidrología del tramo.



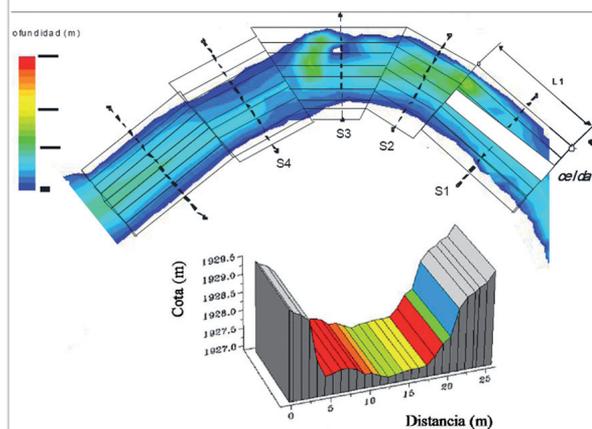
Levantamiento topográfico en el río Alberche



Medición tramo vadeable, río Jerte



Medición batimetría con ecosonda, tramo no vadeable

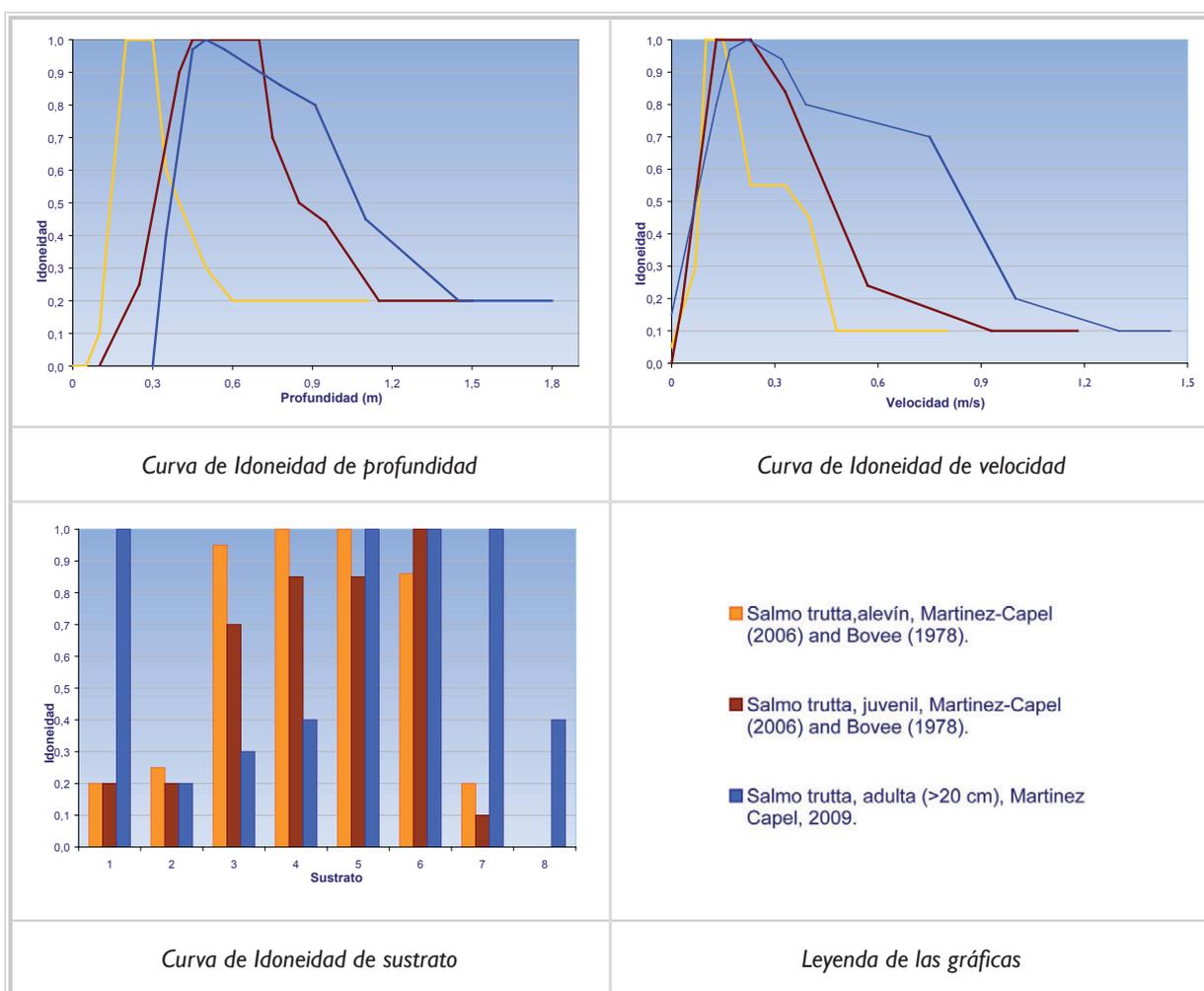


Ej. Modelo hidráulico unidimensional
Diez, J. M. & Martínez de Azagra, A. (2008)

- Por otro lado es necesario un indicador, al cual le influya de manera directa la variación de caudal: las especies piscícolas. Éstas se pueden relacionar directamente con la variación del caudal mediante las denominadas “**curvas de idoneidad**”, que se definen como funciones matemáticas que intentan describir como una especie o estadio vital utiliza el hábitat físico, varían entre 0 (preferencia nula) y 1 (máxima).

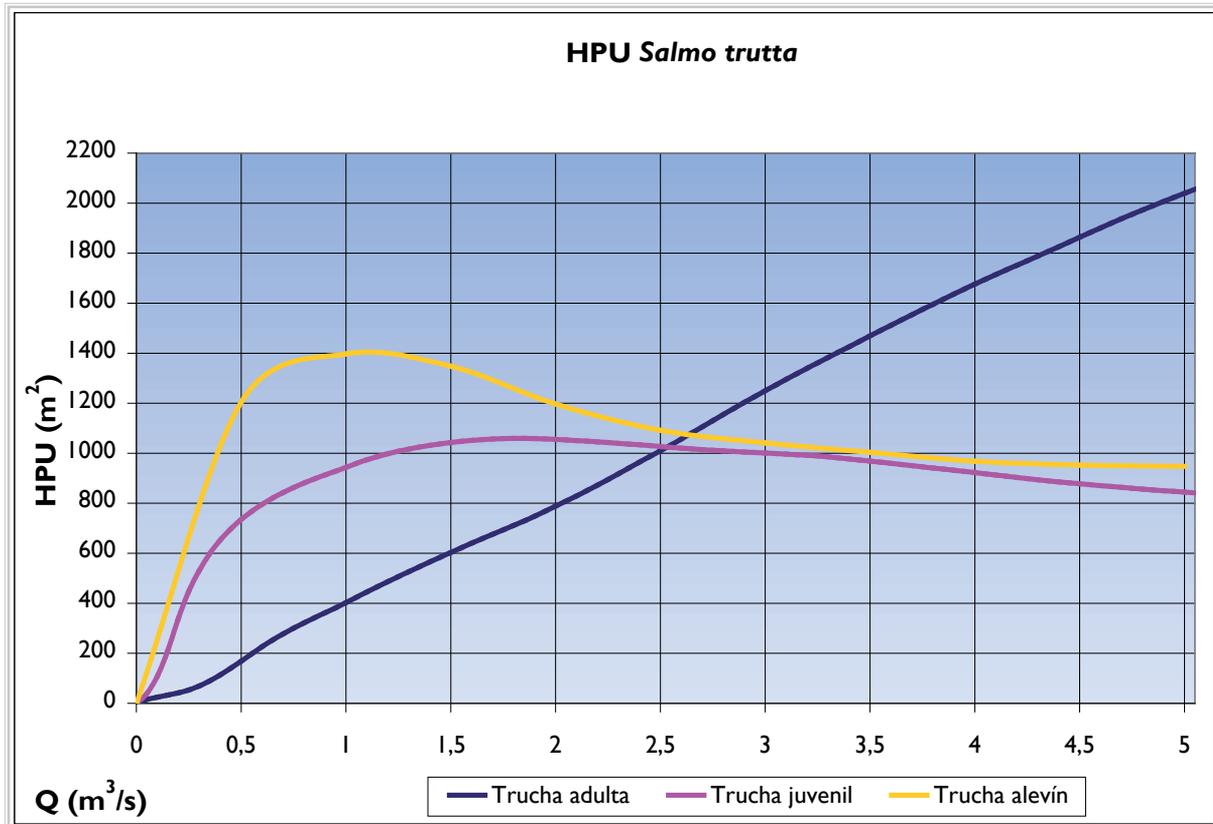
En el estudio también se han elaborado nuevas curvas para especies autóctonas y representativas de la cuenca sin estudios de idoneidad.

Se han trabajado con curvas de idoneidad para especies piscícolas de velocidad, profundidad y sustrato, de ahí la importancia de recoger esas variables en el campo para las diferentes celdas en las que se dividen los transectos (para los tramos en una dimensión) ó para los diversos nodos en caso de modelos en dos dimensiones.



Introduciendo las curvas de idoneidad en los modelos hidráulicos, se obtendrán las **curvas de Hábitat Potencial Útil-Caudal**, que indican la cantidad de hábitat disponible en el tramo de estudio para la especie y se utiliza como herramienta para la selección del caudal mínimo.

Las curvas HPU-Q se han obtenido para todas las especies autóctonas presentes en el tramo de estudio o potencialmente existentes, y para todos los estadios posibles. El gran limitante en este proceso es la existencia de curvas de idoneidad para todos los estadios y especies presentes o que pudiesen haberlo estado.



Los programas utilizados en los estudios para la Cuenca del Tajo han sido:

- para la simulación en 1 dimensión: Rhyabsim (Jowett, I. G., 1989),
- en 2 dimensiones el programa RIVER 2D (Steffler, P., 2002).

 <p>IPH: 3.4.1.4.1.1.3. Obtención de la distribución de caudales mínimos.</p>	<p>La distribución de caudales mínimos se determinará ajustando los caudales obtenidos por métodos hidrológicos al resultado de la modelación de la idoneidad del hábitat, de acuerdo con alguno de los siguientes criterios:</p> <p>Considerar el caudal correspondiente a un umbral del hábitat potencial útil comprendido en el rango 50-80% del hábitat potencial útil máximo.</p> <p>Considerar el caudal correspondiente a un cambio significativo de pendiente en la curva.</p> <p>En el caso de que la curva de hábitat potencial sea creciente y sin aparentes máximos, podrá adoptarse como valor máximo el hábitat potencial útil correspondiente al caudal definido por el rango de percentiles 10-25 % de los caudales medios diarios en régimen natural obtenido de una serie hidrológica representativa (...).</p>
<p>IPH: 3.4.2. Masas de agua muy alteradas hidrológicamente.</p>	<p>(...) el umbral utilizado para fijar el régimen de mínimos en las masas muy alteradas hidrológicamente estará comprendido entre el 30 y el 80% del hábitat potencial útil máximo de la masa de agua, para las especies objetivo analizadas.</p>

Una vez obtenidas las curvas HPU-Q se seleccionara como caudal mínimo un valor entre un intervalo marcado por la IPH, dependiendo de la alteración de la masa:

Masas Muy Alteradas Hidrológicamente:
entre el 30-80% del HPU máximo.

Masas No Muy Alteradas:
entre el 50-80% del HPU máximo.



Para el cálculo de la alteración de la masa se ha utilizado el programa IAHRIS software de libre difusión desarrollado a partir de los trabajos de Carolina Martínez Santa-Maria y José A. Fernández Yuste, UPM

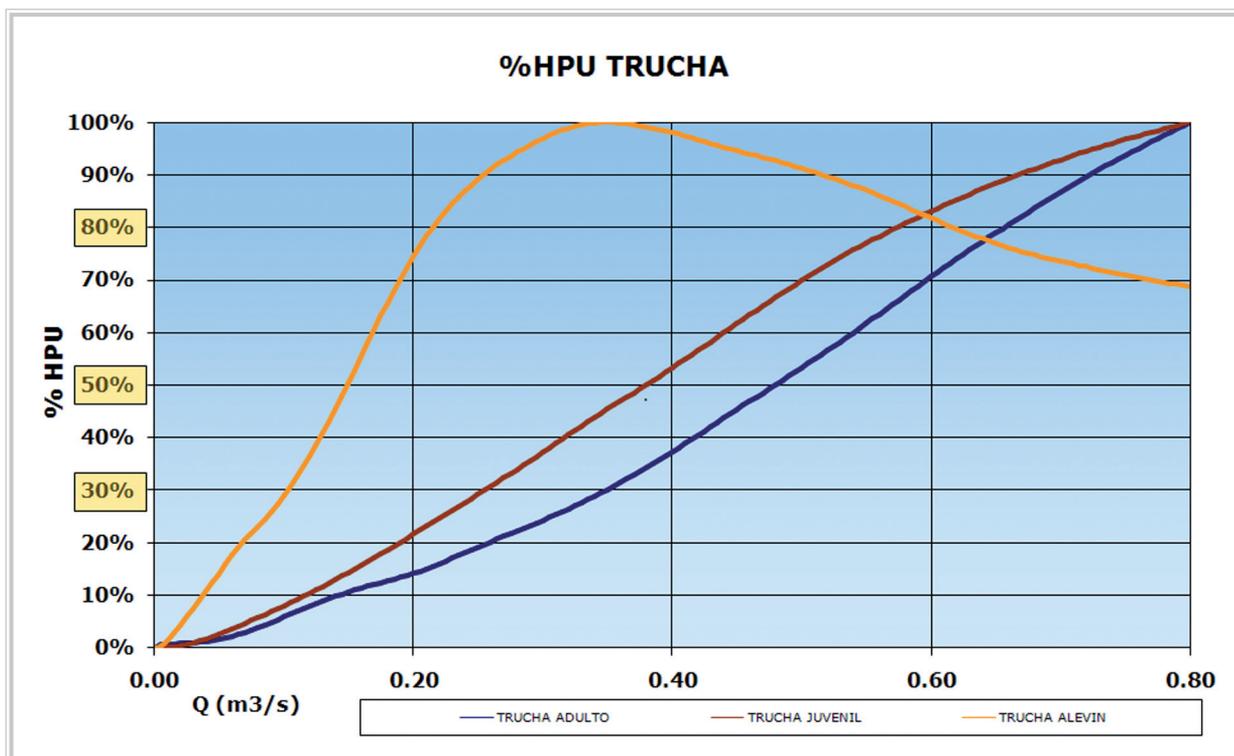
La clave en este proceso es la identificación del máximo de HPU:

- En los casos en que existe, se selecciona el máximo de la curva HPU-Q.

- De no existir máximo en la curva, el máximo HPU se fija a partir de los percentiles 10 a 25 de la curva de caudales clasificados.

- En curvas con cambio de pendiente significativa se selecciona dicho punto como caudal mínimo.

Antes de establecer el caudal mínimo, hay que seleccionar la especie indicadora. Para ello se han comparado los requerimientos de todas las fases vitales de las distintas especies, seleccionando aquella que mayor caudal requiera. También se ha tenido en cuenta los meses en los que se encuentra presente cada estadio en el río para la propuesta del régimen de caudales mínimos.

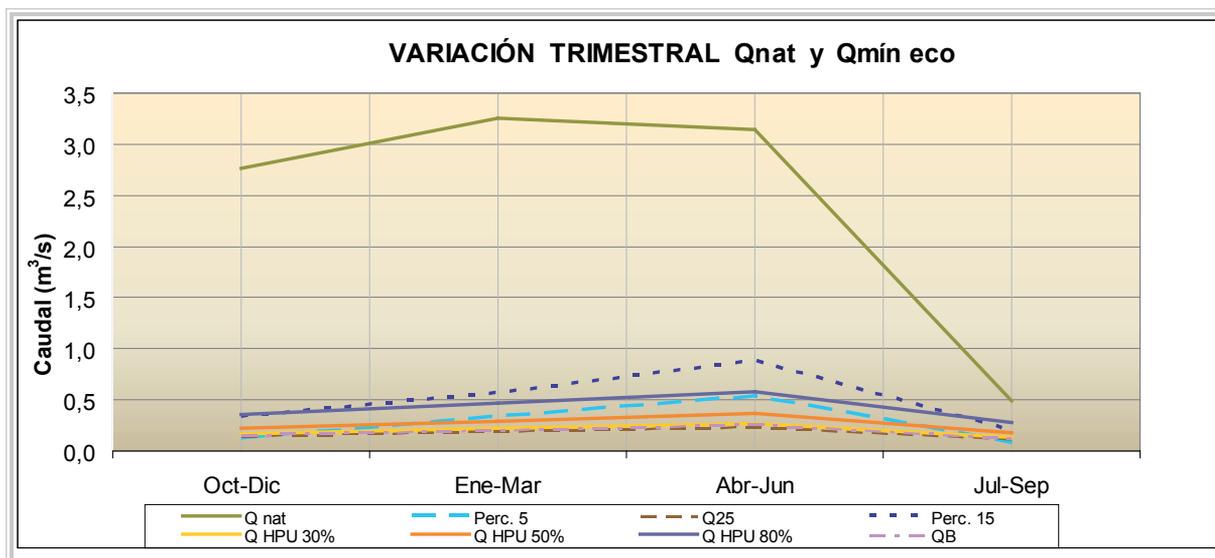


Rangos de % de HPU Máx. considerados para la selección del rango del caudal mínimo ecológico

6.3. Modulación del Caudal Ecológico Mínimo

Una vez obtenidos los resultados de caudal ecológico mínimo, se ha realizado la distribución temporal de los mismos. Esta distribución se realiza a partir de un factor de variación, que se encarga de adecuar el caudal mínimo a las

tendencias de variación de la hidrógrafa natural. Para facilitar su gestión, se ha seguido una distribución trimestral. En la gráfica se muestra un ejemplo de distribución trimestral para los valores hidrológicos e hidrobiológicos.



6.4. Régimen de Caudales durante Sequías Prolongadas

**IPH: Apartado 3.4.3.
Régimen de caudales durante sequías prolongadas**



En caso de sequías prolongadas podrá aplicarse un régimen de caudales menos exigente (...).

Esta excepción no se aplicará en las zonas incluidas en la red Natura 2000 o en la lista de humedales de importancia internacional de acuerdo con el Convenio de Ramsar. En estas zonas se considerará prioritario el mantenimiento del régimen de caudales ecológicos, aunque se aplicará la regla sobre supremacía del uso para abastecimiento de poblaciones, según lo establecido por la normativa vigente.

Se ha definido un régimen de caudales mínimos durante épocas de sequía prolongada en los tramos con estudios hidrobiológicos. Como indica la IPH, en aquellos tramos que no se encuentren dentro de Red Natura 2000 o en la lista de humedales del convenio Ramsar, se puede relajar el caudal hasta el 25% del HPU Máximo.



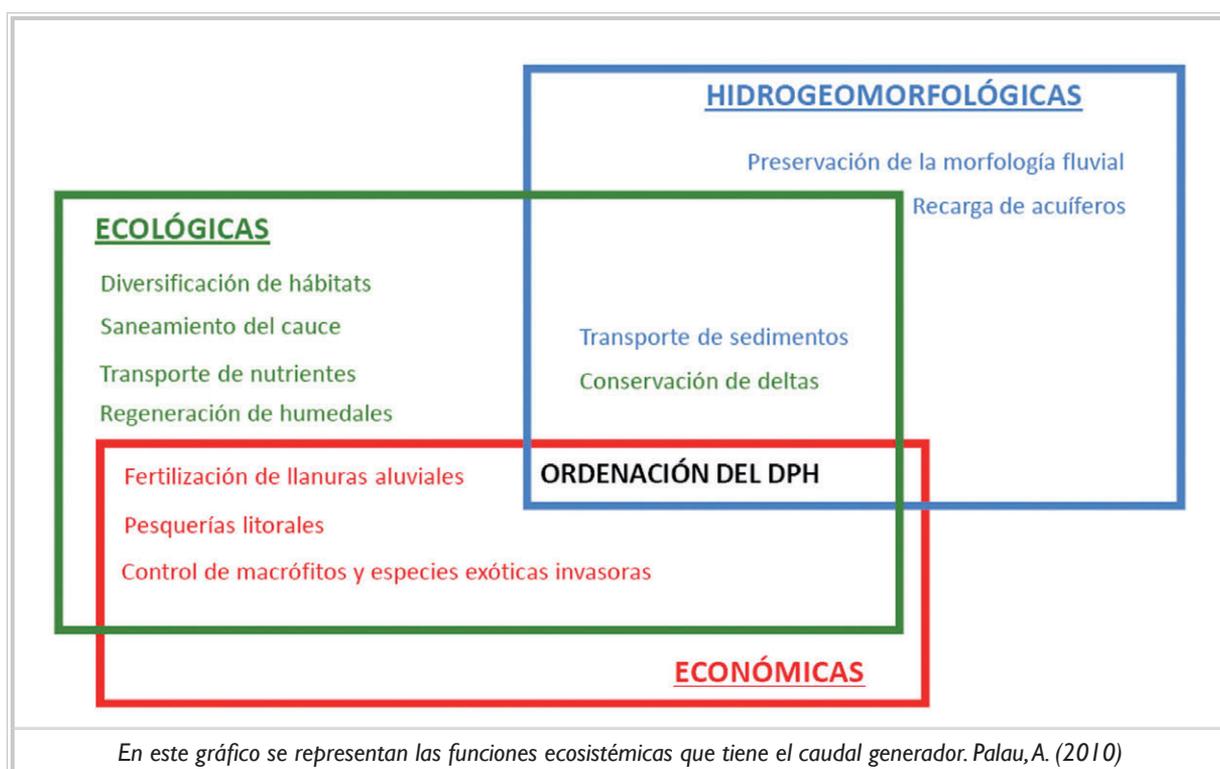
Río Tajo en Huertapelayo (Guadalajara), tramo perteneciente al LIC del Alto Tajo

7. Caudal Generador

El caudal generador se define como aquella crecida ordinaria que genera la morfología del cauce y se origina a partir de una cierta avenida con un periodo de recurrencia.

Para los objetivos de mantener la identidad del cauce ordinario del río, para la regeneración

periódica del sustrato, la zona hiporreica y la ribera es útil aplicar lo que en términos anglosajones se denomina “bank-full discharge”, que podría traducirse como el caudal de plena ocupación de la sección ordinaria, (Palau, A., 1994).



IPH: Apartado

3.4.1.4.1.4.

Caracterización del régimen de crecidas.



En aquellos tramos situados aguas abajo de importantes infraestructuras de regulación la crecida asociada al caudal generador será asociada al caudal de sección llena del cauce. Deberá definirse incluyendo su **magnitud, frecuencia, duración, estacionalidad** y **tasa máxima de cambio**, tanto en la curva de ascenso como en la curva de descenso del hidrograma de la crecida.

Para la realización del estudio, en la cuenca del Tajo, se ha calculado la magnitud de los caudales generadores para todas las masas de agua, como el caudal de avenida asociado al periodo de retorno, ajustando la frecuencia de la serie de caudales máximos anuales (de la serie de caudales naturales del SIMPA del 1940-41 al 2005-2006) a una función de distribución tipo.

Para el cálculo del periodo de retorno se ha partido de la regionalización dispuesta por el CEDEX, 2003, en la que asigna un coeficiente de variación según la zona estudiada y a partir de ese valor se obtiene el periodo de retorno de la máxi-

ma crecida ordinaria (mediante el trabajo de Ferrer, F.J., 1993), asimilable a la avenida generadora.

A partir del análisis de los eventos cercanos al valor del caudal generador se han obtenido las tasas de cambio, la estacionalidad y la frecuencia, caracterizando de tal forma la avenida generadora. Es importante destacar que la metodología aplicada es un método estadístico, valores que en este estudio no han sido objeto de una modelación hidráulica para comprobar los efectos en los cauces y márgenes y los riesgos asociados al valor del caudal calculado.

8. Tasas de Cambio

Aguas abajo de infraestructuras de regulación, pueden darse las llamadas “hidropuntas”, que son variaciones rápidas, bruscas y periódicas de caudal que se producen aguas abajo de los embalses de regulación, con una magnitud, frecuencia y duración que pueden ser variables. Esto ocurre sobretodo en los embalses hidroeléctricos, donde pueden darse una gran variación de los caudales soltados en muy poco tiempo a lo largo del día.

Las especies acuáticas de nuestros ríos, a lo largo de la evolución, se han adaptado a la sequía estival y a las crecidas estivales, pero no soportan fácilmente las variaciones de caudal que pro-

vocan los embalses hidroeléctricos aguas abajo (...), García de Jalón, D., 1990.

La tasa de cambio de la descarga está relacionada con el mantenimiento de las especies piscícolas, en cuanto a que si es excesivamente elevada puede producir que los peces queden atrapados en zonas de sedimentación.

Otros efectos pueden ser la alteración de las comunidades de invertebrados de las que se alimentan los peces, ó los cambios en su conducta en respuesta a las modificaciones del patrón natural de las tasas de cambio (Magdaleno, F., 2009).



**IPH: Apartado
3.4.1.4.1.3.
Tasa de cambio.**

Se establecerá una tasa máxima de cambio, definida como la máxima diferencia de caudal entre dos valores sucesivos de una serie hidrológica por unidad de tiempo, tanto para las condiciones de ascenso como de descenso de caudal.

Su estimación se realizará a partir del análisis de las avenidas ordinarias de una serie hidrológica representativa de caudales medios diarios de, al menos, 20 años de duración. Se calcularán las series clasificadas anuales de tasas de cambio, tanto en ascenso como en descenso. Al establecer un percentil de cálculo en dichas series, se podrá contar con una estimación media de las tasas de cambio. Se recomienda que dicho percentil no sea superior al 90-70%, tanto en ascenso como en descenso.

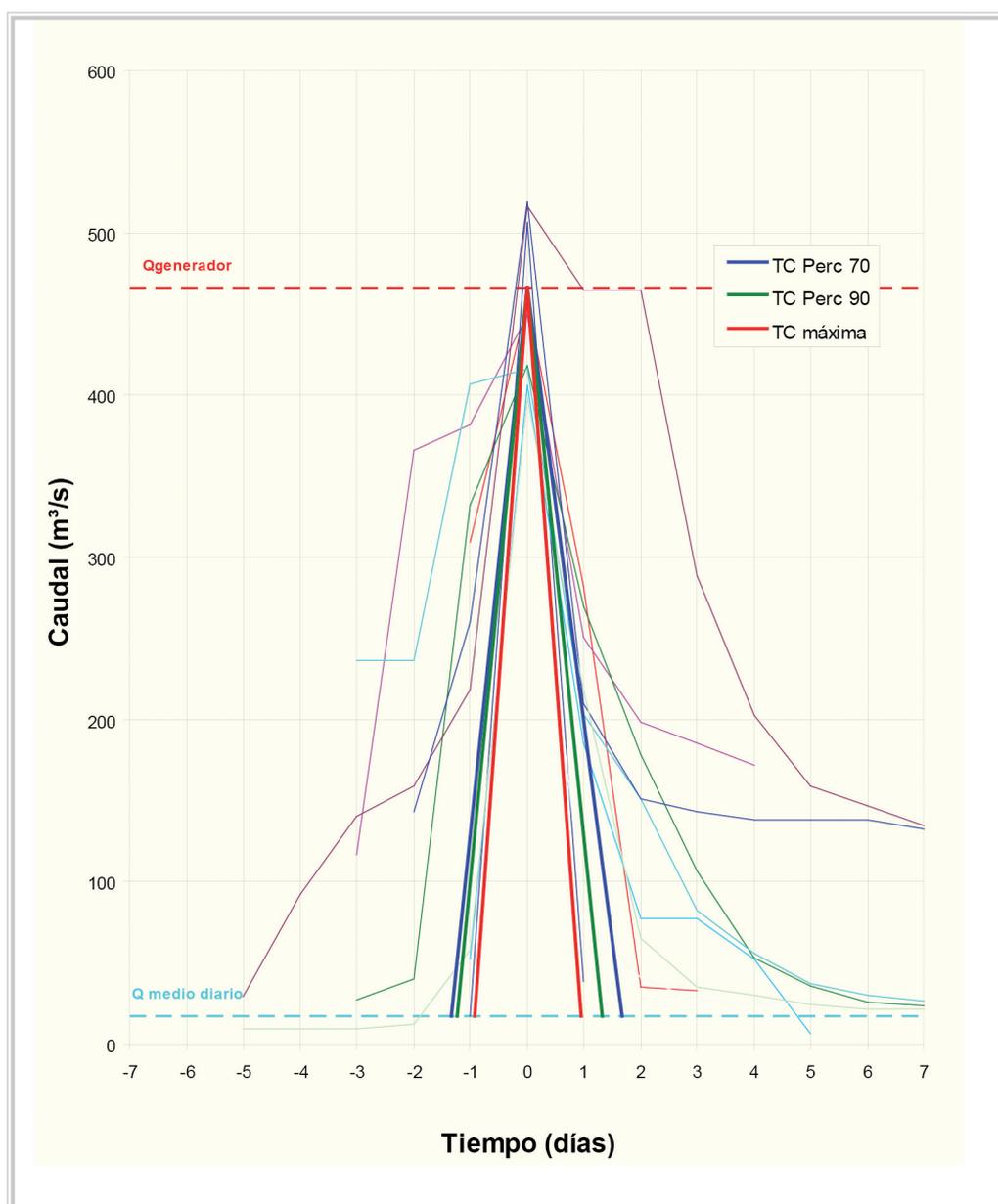
En determinados casos particulares será necesario considerar otra escala temporal que permita limitar la tasade cambio a nivel horario.



Imagen de un desembalse

En la cuenca del Tajo se han estimado las tasas de cambio diarias a partir del análisis de las avenidas ordinarias de la serie hidrológica (de caudales medios diarios) del 1940-41 al 2005-06. Se ha calculado las series clasificadas de tasas de cambio, con las máximas tasas de cambio en ascenso y en descenso, estableciendo un percentil de cálculo en dichas series (90-70%).

También se realizó una aproximación al análisis de las tasas de cambio horarias. Para ello, se siguieron los criterios establecidos por el CEDEX, 1998. Sin embargo, los resultados obtenidos se consideran de carácter meramente informativo, siendo necesario profundizar y contrastar la metodología utilizada.



9. Caudales Máximos

Los caudales máximos se definen como aquellos que no deben ser superados durante la operación y gestión ordinaria de las infraestructuras hidráulicas.

Los caudales artificialmente altos y continuados pueden reducir las poblaciones piscícolas de los estadios y especies más sensibles por agotamiento al superar las velocidades críticas, produciendo su desplazamiento hacia aguas abajo o incluso su muerte. Es recomendable durante la gestión ordinaria no superar las Velocidades Críticas (V_{crit}) o velocidad de agotamiento, asegurando el mantenimiento de unas condiciones

medias en el cauce asimilables a las velocidades óptimas de desplazamiento (velocidades a las que el pez es capaz de desplazarse grandes distancias manteniendo un coste energético de desplazamiento mínimo), Hernández, J. M. et al., 2009.

Para la definición de las velocidades máximas en los estudios realizados, al existir muy poca la información sobre las especies autóctonas, se ha decidido tomar como intervalos limitantes de velocidad máximas las propuestas en la IPH: alevines (0,5-1 m/s), juveniles (1,5-2 m/s) y adultos (<2,5 m/s).



IPH 3.4.1.4.1.2. Distribución temporal de caudales máximos.

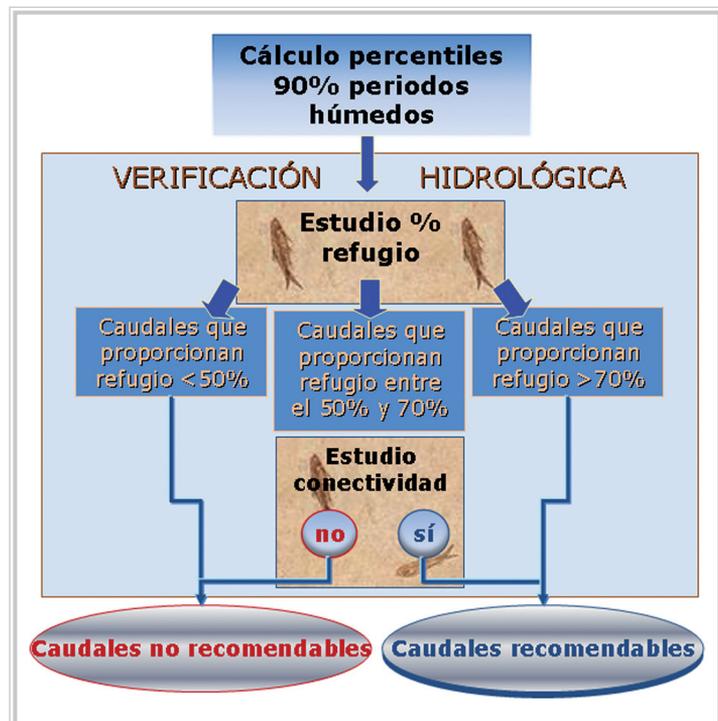
Su caracterización se realizará analizando los percentiles de excedencia mensuales de una serie representativa de caudales en régimen natural de al menos 20 años de duración. (...) se recomienda no utilizar percentiles superiores al 90%, en consonancia con los umbrales propuestos en apartados posteriores para los índices de alteración hidrológica.

Este régimen máximo de caudales máximos deberá ser verificado mediante el uso de los modelos hidráulicos asociados a los modelos de hábitat. A falta de estudios de más detalle, se asegurará que al menos se mantenga un 50% de la superficie mojada del tramo como refugio en las épocas de predominancia de los estadios más sensibles.

En la Demarcación Hidrográfica, del Tajo se ha definido un régimen de caudales máximos en aquellos tramos con estudios de simulación hidráulica aguas abajo de grandes infraestructuras de regulación. Se han analizado los percentiles de excedencia mensuales de la serie de caudales máximos en régimen natural del SIMPA, desde el 1940-41 al 2005-06, considerando el percentil 90 de la serie de caudales medios mensuales máximos, para cada mes de los años húmedos.

Este percentil 90 se ha verificado mediante el uso de los modelos hidráulicos asociados a los modelos de hábitat, para comprobar que se garantiza tanto una adecuada existencia de refugio como el mantenimiento de la conectividad del tramo para los estadios piscícolas. Como criterio general (IPH), se ha de mantener, al menos, un 50% de la superficie mojada del tramo como refugio en las épocas de predominancia de los estadios más sensibles, analizando también la conectividad del tramo para aquellos casos en los que el refugio está entre el 50% y el 70%.

El análisis descrito se concreta en una propuesta mensual de caudales máximos que no deben ser superados, según los estadios existentes en los meses, según sea el tramo ciprinícola y/o salmonícola.



10. Lagos y Humedales

Los lagos y humedales presentes en la cuenca, se han jerarquizado y clasificado a partir de criterios como: presiones existentes, especies en peligro de extinción, figuras de protección y origen del agua, centrándose el estudio en aquellas de mayor interés y con más urgencia: Somolinos y El Tobar.

En los humedales seleccionados se ha realizado un extenso estudio con el objetivo de determinar las necesidades hídricas de lagos y humedales para mantener su estado ecológico.

Para la determinación de los requerimientos hídricos, en primer lugar, se ha hecho una caracterización exhaustiva, mediante trabajo de campo (batimetría, inventario de puntos de agua en los alrededores, identificación de presiones y su impacto sobre el ecosistema) y de gabinete

(caracterización climática, hidrológica (SIMPA), hidrogeológica, hidromorfológica, ecológica). Se ha estudiado el funcionamiento del humedal y su balance hídrico, cuantificando las entradas (precipitación, escorrentía superficial y escorrentía subterránea) y salidas (evapotranspiración, infiltración, escorrentía superficial y extracciones y alteraciones antrópicas) caracterizadas anteriormente.

Posteriormente, se han relacionado las condiciones actuales de la orla de vegetación con la altura de la lámina de agua y sus oscilaciones anuales. Así, en función de la profundidad radicular de las plantas, herbáceas y leñosas, se han establecido criterios para determinar cual es la cota mínima de embalsamiento que puede admitir la cubeta del humedal, sin que se altere el desarrollo vegetativo de una determinada especie:

Datos de la laguna			Meses de afección			
Cota lámina de agua	Área (%)	Volumen (%)	3	6	12	24
0	100,0	100,0	I	I	I	I
-1	93,7	88,4	I	II	II	II
-2	89,3	77,4	II	III	III	III
-3	84,6	67,0	III	III	III	IV
-4	79,5	57,1	III	III	IV	V
-5	72,1	47,9	IV	IV	V	V
-6	66,2	39,7	V	V	V	VI
-7	61,4	32,0	V	VI	VI	VI
-8	56,7	24,9	VI	VI	VII	VII

Indicador	Afección	Significado
I	Sin afección	Cambios dentro del régimen estacional, normal (regulado o no), de la cubeta
II	Afección mínima	Cambios puntuales, recuperables a corto plazo, en las comunidades acuáticas de las zonas litorales
III	Afección ligera	Cambios puntuales, no recuperables a corto plazo, en las comunidades acuáticas de las zonas litorales
IV	Afección moderada	Cambios importantes, recuperables a medio plazo, en las comunidades marginales (herbáceas) y acuáticas
V	Afección grave	Cambios importantes, no recuperables a medio plazo, en las comunidades marginales (herbáceas) y acuáticas
VI	Afección severa	Cambios drásticos, recuperables a medio plazo, en las comunidades marginales (herbáceas y leñosas) y acuáticas
VII	Afección extrema	Cambios drásticos, no recuperables a medio plazo, en las comunidades marginales (herbáceas y leñosas) y acuáticas



Laguna de Somolinos

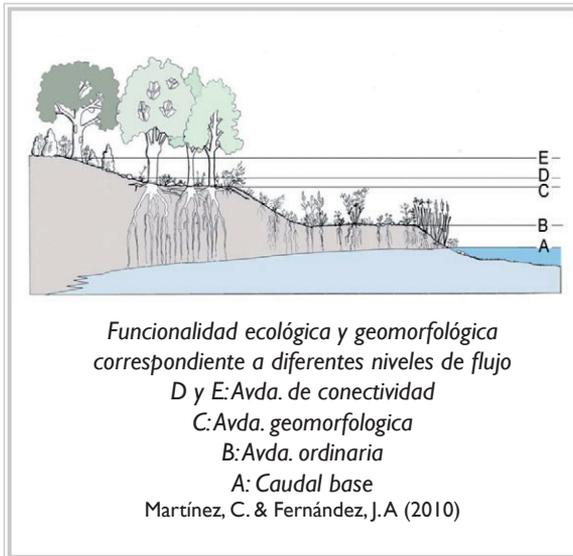


Laguna de El Tobar

I I. Vegetación de Ribera

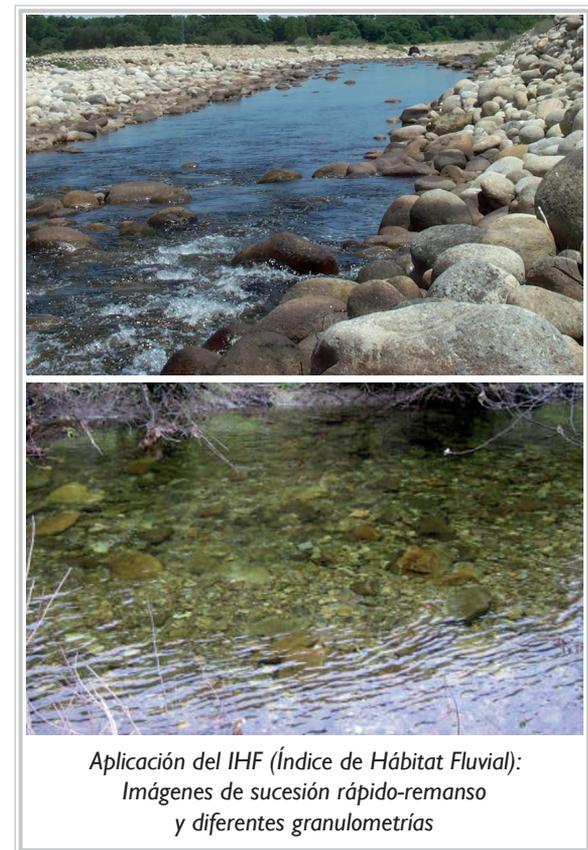
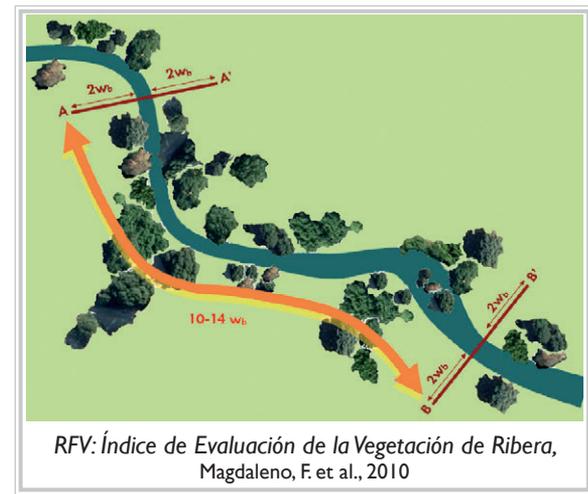
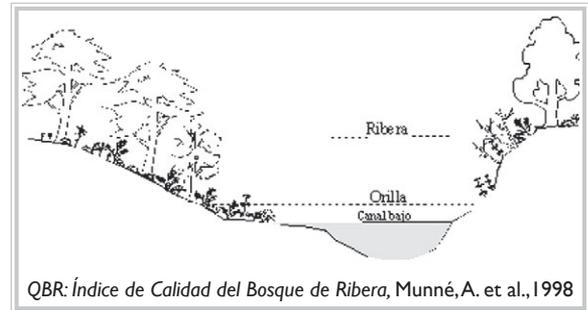
El mantenimiento de la vegetación de ribera está asociado al caudal base y al régimen de crecidas, principalmente repercuten en:

- Mantenimiento del subálveo: agua para las raíces.
- Régimen de crecidas: dispersión semillas, fertilización suelos, eliminación sp. Invasoras...
- Periodos de cese: especies nativas adaptadas a ellos.



Según la IPH, la distribución de caudales mínimos se deberá validar mediante el análisis de su influencia sobre la vegetación de ribera. Para ello se recomienda el uso de indicadores de estado de la vegetación de ribera que permitan relacionar las características del régimen de caudales con los atributos principales de las formaciones vegetales ribereñas.

Por lo tanto, en los estudios de la Cuenca del Tajo, en aquellos tramos donde se han realizado trabajos de campo se han aplicado varios índices de vegetación de ribera, para el establecimiento de línea base que permita conocer la evolución de la vegetación en función de los caudales implementados. Los índices empleados han sido el QBR (Munné, A. et al., 2003) y el RFV (Magdaleno, F. et al., 2010), para la caracterización de la vegetación de ribera, y para la obtención de información complementaria, también se ha aplicado el IHF (Pardo, A. et al., 2002) para la caracterización del hábitat fluvial.



12. Ejemplos de Resultados en la Cuenca Hidrográfica del Tajo

A continuación se muestran ejemplos de fichas-resumen de dos tramos modelados en la Confederación Hidrológica del Tajo, con el cálculo de las diferentes componentes del régimen de

caudales ecológicos, del Bornova para caudales mínimos ecológicos y del Jarama bajo el embalse del Vado para caudales máximos, generadores y tasa de cambio.

BORNOVA - MASA DE AGUA ES030MSPF0320011

MASA SIMULADA HIDROBIOLOGICAMENTE



INTRODUCCIÓN

La presente ficha resume los resultados obtenidos para la distribución del régimen de caudales ecológicos. Se muestran los resultados de caudales mínimos, máximos, y caudales generadores. Para el estudio del régimen de caudales mínimos se han obtenido índices hidrológicos y resultados hidrobiológicos mediante la simulación en 1 dimensión ó en 2 dimensiones, empleando para ello la serie corta hidrológica a régimen natural en el punto de campo, restituida a caudales diarios.

En el caso del cálculo de los caudales máximos se ha validado mediante simulación hidráulica el P90 de la serie larga de caudales mensuales a régimen natural. Para el cálculo de los caudales generadores se han seguido dos metodologías diferentes, con dos resultados diferentes, a falta de validación hidráulica. Se han seguido las instrucciones de la IPH, utilizando en ambas metodologías los periodos de retorno calculados en estudios realizados por el CEDEX, según la zona donde se encuentre la masa de agua.

DATOS GENERALES

Confederación:	CH Tajo	Masa de agua:	ES030MSPF0320011
Localización:	S. Andrés del Congosto (Guadalajara)	Nombre del tramo:	Bornova desde embalse de Alcorlo hasta Río Henares
Coordenadas H30:	X = 499392 Y = 4538240	Ecotipo de masa:	Ríos de montaña mediterránea calcárea
Tramo en la Red Natura declarado como motivo de protección de habitat acuático:	Sí		
Nombre:	Riberas del Henares		
Clasificación de la masa:	Permanente	Grado de alteración:	Muy alterada hidrológicamente

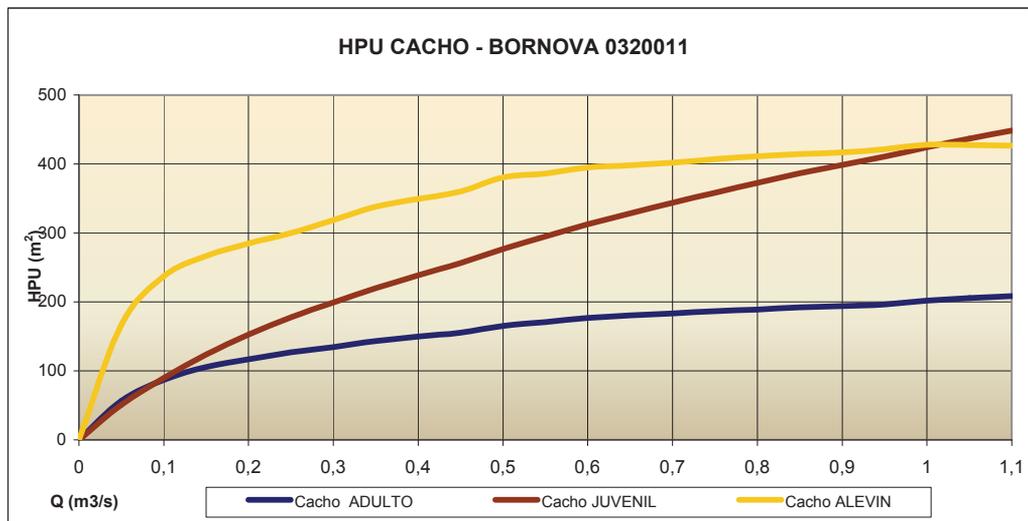
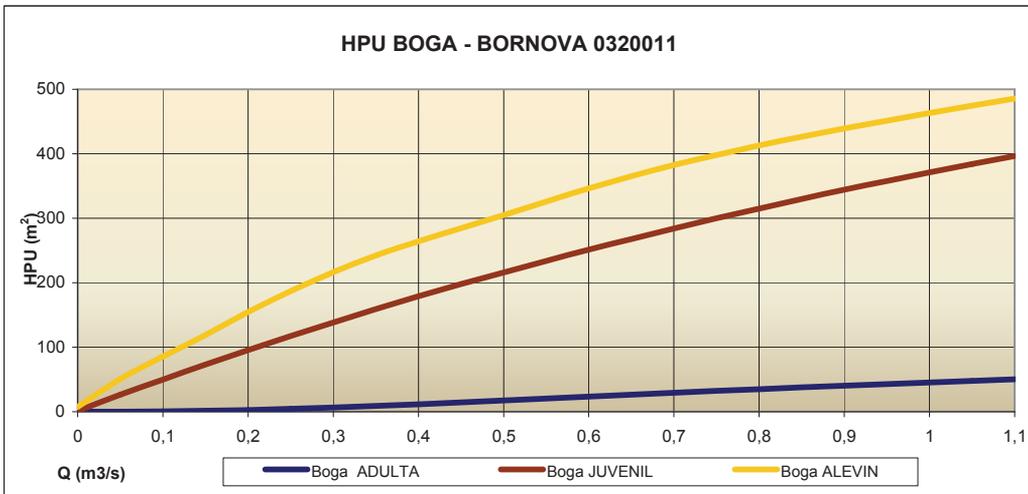
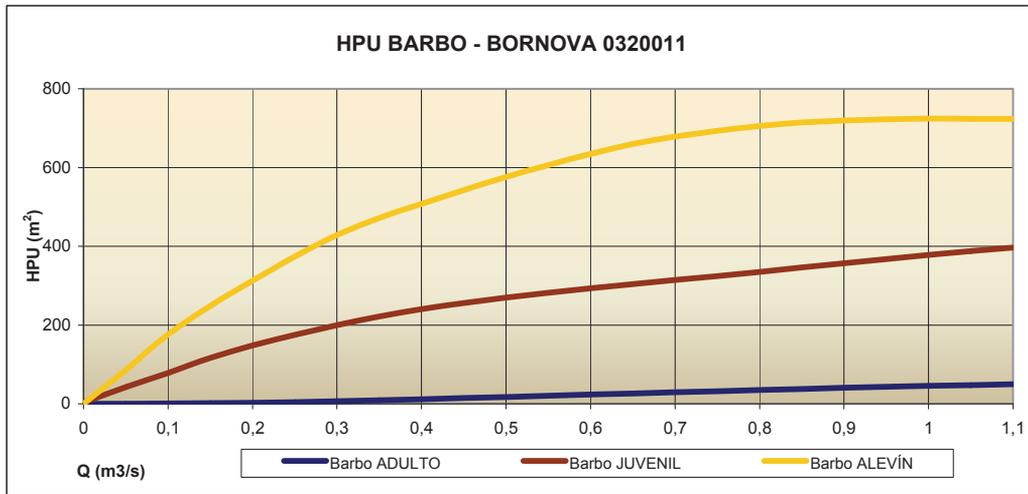
DATOS DE LA SIMULACIÓN

Software utilizado:	RHYHABSIM	Tipo de modelo:	1 D
Longitud simulada de tramo:	241.64 m	Nº de transectos:	14
Datos de las campañas realizadas:			
1ª Campaña	Fecha de muestreo:	19/08/2008	Q calibración: 2,780 m³/s
2ª Campaña	Fecha de muestreo:	17/03/2009	Q calibración: 0,214 m³/s

Especies presentes en el tramo:	Curvas de idoneidad empleadas:
<i>Barbus bocagei</i>	<i>Barbus bocagei</i> adu, ale y juv (Martinez-Capel, 2004)
<i>Chondrostoma polylepis</i>	<i>Chondrostoma polylepis</i> adu, ale y juv (Martinez-Capel, 2009)
<i>Squalius pyrenaicus</i>	<i>Squalius pyrenaicus</i> adu, ale y juv (Martinez-Capel, 2004)
<i>Squalius alburnoide</i> *	
<i>Cobitis paludica</i> *	

*especies no simuladas por ausencia actual de curva de idoneidad

DH TAJO	CURVAS HPU-Q DE LAS ESPECIES SIMULADAS
CÓDIGO MASA DE AGUA	<i>Bornova desde embalse de Alcorlo hasta Río Henares</i>
ES030MSPF0320011	



NOTA: Para sacar los valores de todas las gráficas se han simulado hasta el caudal correspondiente al Percentil 50 de la serie de caudales clasificados, serie SIMPA 1980/81-2005/06.

DH TAJO	ESTUDIO DE CAUDALES MÍNIMOS POR MÉTODOS HIDROBIOLÓGICOS EN PUNTO DE CAMPO
CÓDIGO MASA DE AGUA	<i>Bornova desde embalse de Alcorlo hasta Río Henares</i>
ES030MSPF0320011	

Caudales correspondientes a % de HPU respecto al HPU máx (Según IPH):	Caudal (m³/s)	Caudal de referencia adoptado (m³/s)	Aportación anual (hm³/año)	% s/Qnat
Q 80% HPUmax (series anuales de datos diarios)	0,280 m³/s	0,280 m³/s	8,83 hm³/año	11,64%
Q 50% HPUmax (series anuales de datos diarios)	0,175 m³/s	0,175 m³/s	5,52 hm³/año	7,27%
Q 30% HPUmax (series anuales de datos diarios)	0,135 m³/s	0,135 m³/s	4,26 hm³/año	5,61%
Q 25% HPUmax (series anuales de datos diarios)	0,119 m³/s	0,119 m³/s	3,74 hm³/año	4,93%

Nota: Especie objetivo Boga. Curva HPU-Q creciente, se ha considerado el máximo de HPU en el valor del Percentil 20% de la serie de caudales diarios clasificados (SIMPA, 1980/81-2005/06).

ESTIMACIÓN DE CAUDALES (m³/s)

	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Media anual	% s/Qnat
Q natural	2,33	2,66	3,29	3,28	3,47	3,04	3,68	3,99	1,74	0,47	0,38	0,64	2,41	100%
Perc 5 *	0,07	0,15	0,13	0,23	0,32	0,44	0,48	0,58	0,54	0,08	0,07	0,07		
Perc 15 *	0,20	0,36	0,43	0,39	0,53	0,78	0,87	1,11	0,66	0,20	0,20	0,20		
Qaforado**	1,34	4,22	2,74	4,60	6,27	4,64	2,50	1,72	1,13	0,67	0,49	1,07	2,62	108%
Factor de variación	F var 4	1,00	1,34	1,47	1,39	1,63	1,97	2,08	2,35	1,80	1,00	1,00		
$F_{var 4} = \sqrt{\frac{Perc 15_i}{Perc 15_{min}}}$	Q 80%	0,28	0,38	0,41	0,39	0,46	0,55	0,58	0,66	0,51	0,28	0,28	0,42	17%
	Q 50%	0,18	0,24	0,26	0,24	0,28	0,35	0,36	0,41	0,32	0,18	0,18	0,26	11%
	Q 30%	0,14	0,18	0,20	0,19	0,22	0,27	0,28	0,32	0,24	0,14	0,14	0,20	8%
	Q 25%	0,12	0,16	0,17	0,16	0,19	0,23	0,25	0,28	0,21	0,12	0,12	0,18	7%

PROBABILIDAD DE CUMPLIMIENTO MENSUAL DE CAUDALES HIDROBIOLÓGICOS

	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Media	
Perc 5	84,0	96,0	95,8	95,8	96,0	100,0	96,0	96,0	100,0	96,0	92,0	84,0	94,3	
Perc 15	76,0	88,0	87,5	87,5	84,0	88,0	84,0	84,0	96,0	64,0	56,0	52,0	78,9	
Factor de variación	Q 80%	68,0	84,0	87,5	87,5	92,0	92,0	92,0	96,0	100,0	52,0	52,0	44,0	78,9
$F_{var 4} = \sqrt{\frac{Perc 15_i}{Perc 15_{min}}}$	Q 50%	76,0	92,0	87,5	95,8	96,0	100,0	100,0	100,0	100,0	84,0	60,0	60,0	87,6
	Q 30%	76,0	92,0	91,7	95,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	92,0	64,0	72,0	90,3
	Q 25%	76,0	96,0	91,7	95,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	92,0	64,0	80,0	91,3

ESTUDIO DE CAUDALES MÍNIMOS POR MÉTODOS HIDROLÓGICOS EN PUNTO DE CAMPO

INDICADORES HIDROLÓGICOS***	Caudal (m³/s)	Aportación anual (hm³/año)	% s/Qnat
Q Básico (series anuales de datos diarios)	0,124 m³/s	3,90 hm³/año	5,15%
Percentil 5 (serie de datos diarios)	0,075 m³/s	2,35 hm³/año	3,10%
Percentil 15 (serie de datos diarios)	0,201 m³/s	6,35 hm³/año	8,36%
Q21 (series anuales de datos diarios)	0,111 m³/s	3,49 hm³/año	4,61%
Q25 (series anuales de datos diarios)	0,113 m³/s	3,56 hm³/año	4,69%

ESTIMACIÓN DE CAUDALES (m³/s)

	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Media anual	% s/Qnat
Q natural	2,33	2,66	3,29	3,28	3,47	3,04	3,68	3,99	1,74	0,47	0,38	0,64	2,41	
Perc 5 *	0,07	0,15	0,13	0,23	0,32	0,44	0,48	0,58	0,54	0,08	0,07	0,07		
Perc 15*	0,20	0,36	0,43	0,39	0,53	0,78	0,87	1,11	0,66	0,20	0,20	0,20		
Qaforado **	1,34	4,22	2,74	4,60	6,27	4,64	2,50	1,72	1,13	0,67	0,49	1,07	2,62	
Factor de variación	F var 4	1,00	1,34	1,47	1,39	1,63	1,97	2,08	2,35	1,80	1,00	1,00		
$F_{var 4} = \sqrt{\frac{Perc 15_i}{Perc 15_{min}}}$	Q básico	0,12	0,17	0,18	0,17	0,20	0,24	0,26	0,29	0,22	0,12	0,12	0,19	8%
	Q 21	0,11	0,15	0,16	0,15	0,18	0,22	0,23	0,26	0,20	0,11	0,11	0,17	7%
	Q 25	0,11	0,15	0,17	0,16	0,18	0,22	0,23	0,27	0,20	0,11	0,11	0,17	7%

PROBABILIDAD DE CUMPLIMIENTO MENSUAL DE CAUDALES HIDROLÓGICOS

	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Media	
Perc 5	84,0	96,0	95,8	95,8	96,0	100,0	96,0	96,0	100,0	96,0	92,0	84,0	94,3	
Perc 15	76,0	88,0	87,5	87,5	84,0	88,0	84,0	84,0	96,0	64,0	56,0	52,0	78,9	
Factor de variación	Q básico	76,0	92,0	91,7	95,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	92,0	64,0	80,0	91,0
$F_{var 4} = \sqrt{\frac{Perc 15_i}{Perc 15_{min}}}$	Q 21	76,0	96,0	91,7	95,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	96,0	68,0	80,0	92,0
	Q 25	76,0	96,0	91,7	95,8	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	96,0	68,0	80,0	92,0

* Los percentiles 5 y 15 se han calculado para cada mes, por lo que no se les aplica factores de variación.

** Los datos registrados se han tomado de la EA 3066 que está a 15,8 Km del final de masa. Datos tomados hasta 1979.

*** Los indicadores hidrológicos se han calculado para la serie completa de los caudales naturales diarios (SIMPA) del 1980/81 al 2005/06.

NOTA: Si el valor mensual de los percentiles es igual o mayor que el percentil de la serie completa, se ha adoptado este último.

DH TAJO	ESTUDIO DE CAUDALES MÁXIMOS
CÓDIGO MASA DE AGUA	<i>Río Jarama aguas abajo del embalse de el Vado</i>
ES030MSPF0424021	

Datos origen:

Datos mensuales de los años húmedos, Simpa II de serie larga (1940-41/2005-06)

Percentiles Serie Natural:

Perc.	Caudales
100	42,124
99	37,051
98	33,354
97	30,920
96	30,380
95	28,876

Perc.	Caudales
94	27,703
93	26,295
92	24,597
91	23,440
90	22,629

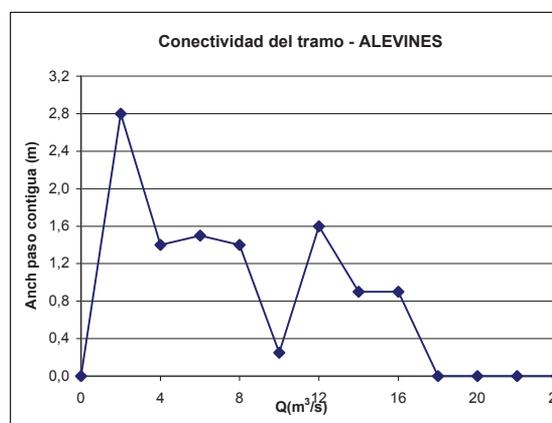
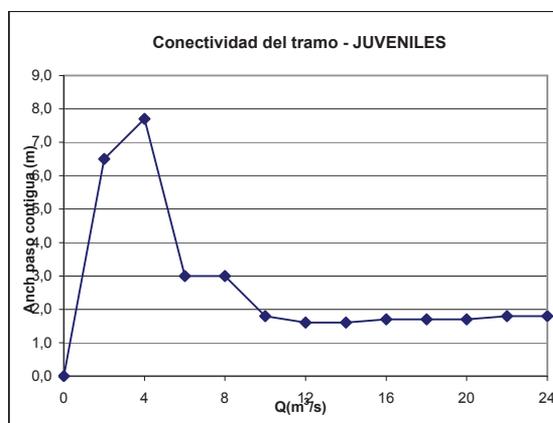
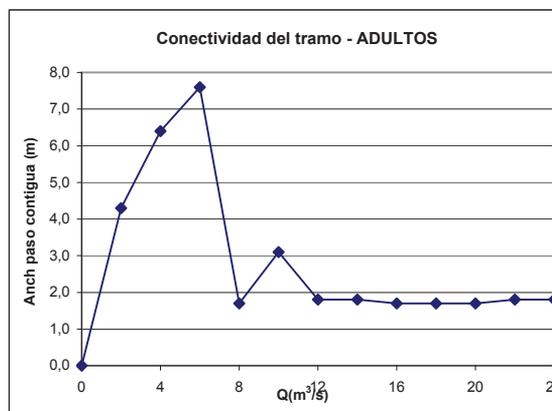
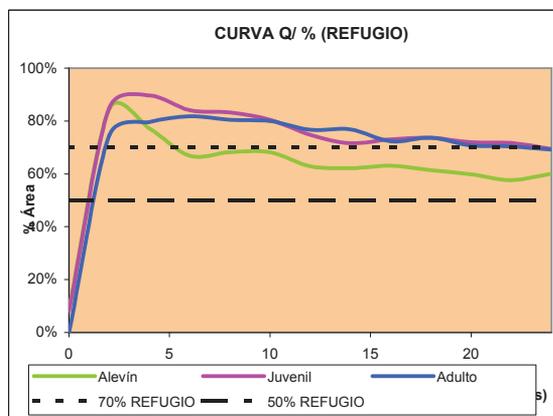
Perc.	Caudales
85	19,458
80	16,764
75	14,869
70	12,862
65	11,104
60	9,439

Perc.	Caudales
55	8,406
50	7,269
45	5,115
40	4,075
35	3,257
30	2,488

Perc.	Caudales
25	1,942
20	1,434
15	1,008
10	0,778
5	0,508
0	0,203

Percentil 90 a validar mediante método hidrobiológico:

22,629 m³/s

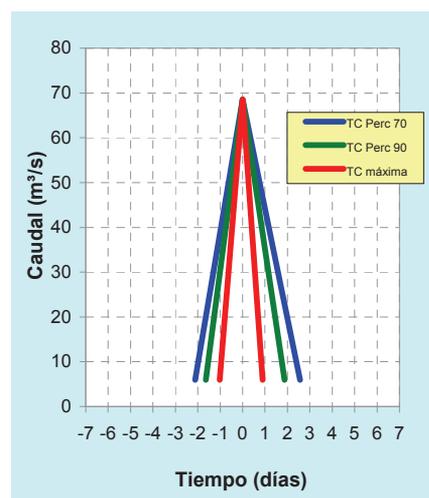


Conclusión: Ningún estadio tiene en ningún caso reducción del refugio por debajo del 50%. Se produce rotura de conectividad para alevines a partir de 17,44 m³/s.

DH TAJO	PROPUESTA DE CAUDALES MÍNIMOS, DE CAUDALES MÁXIMOS, RÉGIMEN DE CRECIDAS E INFORMACIÓN ADICIONAL
CÓDIGO MASA DE AGUA	<i>Río Jarama aguas abajo del embalse de el Vado</i>
ES030MSPF0424021	

METODOLOGÍA 1: Cálculo de la magnitud por ajuste de la frecuencia de la serie de caudales máximos anuales a una función de distribución tipo. La frecuencia utilizada parte del estudio del CEDEX, 2003. En función del valor de la magnitud obtenida, se han estudiado los diversos eventos sucedidos en la serie de valores de caudales naturales para la obtención del resto de los parámetros.

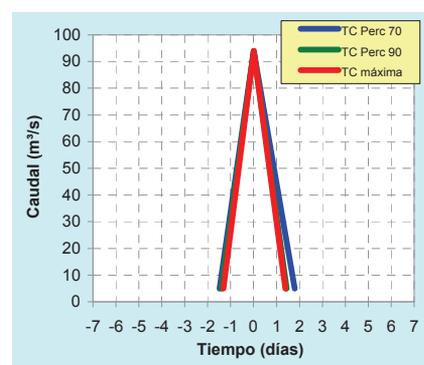
CAUDAL GENERADOR									
CAUDAL PUNTA (T= 3,95 años):					69 m³/s				
MES DE MÁXIMA FRECUENCIA:					MARZO				
CARACTERIZACIÓN DEL HIDROGRAMA DEL EVENTO GENERADOR TIPO									
	Rama ascendente			Rama descendente			Total hidrograma		
	Perc. 70	Perc. 90	Máx	Perc. 70	Perc. 90	Máx	Perc. 70	Perc. 90	Máx
Tasa cambio (m³/s/día)	29,5	38,2	61,3	24,5	33,4	70,0			
Duración (horas)	51,0	39,3	24,5	61,4	45,0	21,5	112,4	84,3	46,0
Volumen (hm³)	5,75	4,44	2,76	6,92	5,07	2,42	12,67	9,51	5,18
% s/ Apo. Natural *	3,1%	2,4%	1,5%	3,7%	2,7%	1,3%	6,8%	5,1%	2,8%



Nota: "T" procede de estudios realizados por el CEDEX
 Datos de caudal generador a falta de contraste con estudios hidráulicos detallados
 * % sobre el valor medio anual, calculado para la serie larga de caudales medios diarios.

METODOLOGÍA 2: La magnitud se ha obtenido mediante la interpolación de los valores de las coberturas GIS elaboradas por el CEDEX para un estudio de caudales máximos según los diferentes periodos de retorno. La frecuencia utilizada parte del estudio del CEDEX, 2003. En función del valor de la magnitud obtenida, se han estudiado los diversos eventos sucedidos en la serie de valores de caudales naturales para la obtención del resto de los parámetros.

CAUDAL GENERADOR									
CAUDAL PUNTA (T= 3,95 años):					94 m³/s				
MES DE MÁXIMA FRECUENCIA:					DICIEMBRE				
CARACTERIZACIÓN DEL HIDROGRAMA DEL EVENTO GENERADOR TIPO									
	Rama ascendente			Rama descendente			Total hidrograma		
	Perc. 70	Perc. 90	Máx	Perc. 70	Perc. 90	Máx	Perc. 70	Perc. 90	Máx
Tasa cambio (m³/s/día)	59,9	63,8	67,5	49,8	61,9	64,4			
Duración (horas)	35,6	33,5	31,6	42,9	34,5	33,2	78,5	68,0	64,8
Volumen (hm³)	5,71	5,37	5,07	6,87	5,53	5,32	12,59	10,90	10,38
% s/ Apo. Natural *	3,6%	3,4%	3,2%	4,4%	3,5%	3,4%	8,0%	6,9%	6,6%



Nota: "T" procede de estudios realizados por el CEDEX.
 Datos de caudal generador a falta de contraste con estudios hidráulicos detallados.
 * % sobre el valor medio anual, calculado para la serie larga de caudales medios diarios.

13. Bibliografía

Para la definición y explicación de algunos conceptos se ha recurrido a diversos autores:

Baeza, D.; García de Jalón, D.; Gutiérrez B. & Vizcaíno, P. (2005). "Basin influence on natural variability of rivers in semiarid environments", *International Journal River Basin Management*, vol. 3, núm. 4.

Bovee, K. D. (1978). "The incremental method of assessing habitat potential for cool water species, with management implications", p. 340-346. In R. L. Kendall ed. *Selected cool water fishes of North America*. Am. Fish. Soc. Spec. Publ. N° 11.

Bovee, K. D. (1982). "A guide to stream habitat analysis using the Instream Flow Incremental Methodology". *Instream Flow Information Paper*. USD Fish and Wildlife Service. Washington.

CEDEX (1998). "Realización de Estudios de ecología fluvial en tramos de ríos del ámbito de la cuenca hidrográfica del Guadalquivir. Río Genil, Anejo II Tomo III".

CEDEX (2003). "Aspectos Prácticos de Definición de la Máxima Crecida Ordinaria" en MIMAM.

Diez, J. M. & Martínez de Azagra, A. (2008). "Desarrollo de un modelo de velocidad complementario para la evaluación ecohidráulica del hábitat fluvial". *Avances en Recursos Hidráulicos*, núm 17. Medellín, Colombia.

Ferrer, F. J. (1993). "Recomendaciones para el cálculo hidrometeorológico de avenidas". CEDEX, Madrid.

García de Jalón, A. (1990). "Técnicas hidrobiológicas para la estimación de caudales ecológicos mínimos". *Libro Homenaje al profesor García de Viedma*. Ramos, A., Notario, A. & Bargueño, R.. FUCOVASA. UPM. Madrid.

Hernández, J. M.; Ferrer J.; Peris, A.; Hernández, A. B.; Martínez, F. & Bargay, M. (2009). Capítulo 3, Ríos permanentes de la "Guía para la determinación del régimen de caudales ecológicos".

Jowett, I. G. (1989). "River hydraulic and habitat simulation". RHYHABSIM computer manual. N.Z. Fish. Misc. Rep. No. 49.

King, J. M., & Louw, M. D. (1998). "Instream flow assessment for regulated rivers in South Africa using the Building Block Methodology".

King, J. M., & Tharme, R. E. (1994). "Assessment of the instream flow incremental methodology and initial development of alternative instream flow methodologies for South Africa".

Lytle, D.H.; Poff, N. L. (2004). Adaptation to natural flow regime. *Trends in Ecology and Evolution* 19:94-100.

Magdaleno, F. (2005). "Caudales ecológicos: conceptos, métodos e interpretaciones", Centro de publicaciones CEDEX.

Magdaleno, F. (2009). "Manual técnico del cálculo de caudales ambientales". *Monografías de Medio Ambiente*, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Magdaleno, F.; Martínez, R. & Roch, V. (2010). "Índice RFV para la valoración del estado del bosque de ribera". *Ingeniería Civil* 157/2010.

Martínez, C. & Fernández, J. A. (2006). "El régimen natural de caudales: una diversidad imprescindible, una diversidad predecible". *Invest Agrar: Sist Recur For* Fuera de serie, 153-165.

Martínez, C. & Fernández, J. A. (2010). "IAHRIS 2.2 Índices de alteración hidrológica en ríos. Manual de referencia metodológica".

Martínez, F.; Alcaraz, J. D.; Hernández, A. B.; Peredo, M. & Rodilla, M. (2007). "Estimación de las curvas de preferencia de microhábitat para determinadas especies piscícolas representativas como paso intermedio en el establecimiento del régimen de caudales medioambientales en los ríos de la Demarcación

Hidrográfica del Júcar”. *Informe técnico de la Universidad politécnica de Valencia para la Confederación Hidrográfica del Júcar*.

Martínez, F. et al. (2009). “Curvas de idoneidad de microhábitat en las cuencas del Tajo y Duero y estudio específico de curvas para la Bermejuela y Trucha común adulta”. Informe realizado para el contrato de consultoría y asistencia “Realización de las tareas necesarias para el establecimiento del régimen de caudales ecológicos y de las necesidades ecológicas de agua de las masas de agua superficiales continentales y de transición de la parte española de las demarcaciones hidrográficas del Norte, Miño-Limia, Duero y Tajo.”

Munné, A.; Solá, C.; Prat, N. (1998). “QBR: Un índice rápido para la evaluación de la calidad de los ecosistemas de ribera”. *Tecnología del Agua*, 175: 20-37.

Munné, A.; Prat, N.; Solá, C.; Bonada, N. & Rieradevall, M. (2003). “A simple field method for assessing the ecological quality of riparian habitat in rivers and streams: QBR index.” *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* 13: 147–163.

Palau, A & Alcázar, J. (1996). “The basic flow: an alternative approach to calculate minimum instream flows”, en *Proceedings 2nd International Symposium on Habitat Hydraulics 2000*, vol A: págs. 547-558. Québec, Canadá.

Palau, A. (1994). “Los mal llamados caudales ecológicos. Bases para una propuesta de cálculo”. *OP. Revista del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos*, 28.

Palau, A. (2010). Ponencia sobre “Caudal generador. Tasa de cambio de caudal”. *Curso sobre caudales ecológicos*, Confederación Hidrográfica del Miño-Sil. Ourense.

Pardo, I.; Álvarez, M.; Casas, J.; Moreno, J.; Vicas, S.; Bonada, N.; Alba-Tercedor, J.; Jáimez-Cuellar, P.; Moya, G.; Prat, N.; Robles, S.; Suarez, M.; Toro, M. & Vidal-Abarca, M. 2002. “El hábitat de los ríos mediterráneos. Diseño de un índice de diversidad de hábitat”. *Limnetica* 21: 115-132

Poff, N. L.; Allan, J. D.; Bain, M. B.; Karr, J. R.; Prestgaard, K. L.; Richter, B. D.; Sparks, R. E. & Stromberg, J. C. (1997). “The Natural Flow Regime. A paradigm for river conservation and restoration”. *BioScience* 47 (11).

Reiser, D. W.; Wesche, T. A.; Estes, C. (1989). “Status of instream flow legislation and practices in North America”. *Fisheries*, núm. 14.

Steffler, P. (2002). *River 2D*. University of Alberta.

Las fotografías han sido realizadas por:

Francisco Ferreiro López: portada (fotografía grande, río Manzanares en Somontes), pág. 1 (fotografía arriba derecha de pescador en río de la Aceña, abajo izquierda del Arroyo de Las Lilas, en Tejera Negra y abajo derecha del río Cofio), pág. 6, pág. 8 y pág. 23 (laguna de El Tobar).

Infraestructura y Ecología, S. L.: portada (las dos fotografías inferiores, río Alberche), pág. 1 (fotografía superior izquierda), pág. 10, pág. 13, pág. 17, pág. 19, pág. 23 (Laguna de Somolinos), pág. 24 (sucesión rápido-remanso y diferentes granulometrías) y pág. 25.



Este documento ha sido realizado por la Oficina de Planificación Hidrológica de la Confederación Hidrográfica del Tago, con la colaboración de Ana María Fernández Santamarina y Mariano Cebrián del Moral de Infraestructura y Ecología S.L., dentro del contrato de consultoría y asistencia:

“REALIZACIÓN DE LAS TAREAS NECESARIAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS Y DE LAS NECESIDADES ECOLÓGICAS DE AGUA DE LAS MASAS DE AGUA SUPERFICIALES CONTINENTALES Y DE TRANSICIÓN DE LA PARTE ESPAÑOLA DE LAS DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS DEL NORTE, MIÑO-LIMIA, DUERO Y TAJO.”

Clave AT: 21.834-0028/0411.

Licitado por la Subdirección General de Planificación y Uso Sostenible del Agua.

Diseño y maquetación: Editorial Solitario, S.L.



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE MEDIO AMBIENTE
Y MEDIO RURAL Y MARINO

DIRECCIÓN GENERAL
DEL AGUA

CONFEDERACION
HIDROGRÁFICA
DEL TAJO