

Estudi dels cabals ecològics i la disponibilitat de l'hàbitat per a les espècies piscícoles en la plana baixa del Ter

**Francisco Martínez Capel, Aina Berta Hernández Mascarell,
Matías Peredo Parada, Juan D. Alcaraz Hernández,
Virginia Garófano Gómez i Aderson A. Orozco González**

Introducción

Los cursos fluviales (ríos, rieras y también torrentes) son sistemas de drenaje de las aguas continentales que, de manera natural, tienen una magnitud y variabilidad de caudales características. Éstas dependen de las condiciones ambientales, climáticas y morfométricas de la cuenca. La variabilidad en los caudales (el régimen hidrológico) condiciona la morfometría y la dinámica del cauce, su habitabilidad física, y por tanto también las comunidades de seres vivos que pueden albergar.

Por otro lado, el agua es un recurso indispensable para el mantenimiento y subsistencia del hombre. Así, para diversos usos del hombre, el agua es extraída de los ríos, con la consiguiente alteración de la estructura y el funcionamiento del ecosistema.

Por todo esto, es muy importante considerar los llamados caudales ecológicos, ambientales o de mantenimiento. Precisamente en el año 2006 este término ha tenido gran relevancia en Catalunya, debido a la aprobación del *Pla sectorial de cabals de manteniment de les conques internes de Catalunya*, el primer plan de este tipo que ha sido aprobado en España (ACA, 2006). El término de régimen ecológico de caudales se refiere a unos caudales capaces de mantener el funcionamiento, la composición y la estructura del ecosistema fluvial, de forma similar a como estaba en condiciones naturales. Por los métodos actuales, los caudales ecológicos suelen estimarse de forma que sean capaces de mantener una cantidad suficiente de hábitat fluvial para mantener la vida de ciertos organismos acuáticos. Estos caudales se justifican a veces para preservar las especies autóctonas de

fauna o flora, y otras para conservar la pesca, mantener la calidad estética de un paraje fluvial, o para proteger tramos de interés científico o cultural.

En el presente estudio, la fijación de un régimen de caudal ecológico para la plana baja del Ter se realizará basándose en el análisis de la variación del hábitat físico con los caudales circulantes. Es una técnica desarrollada en Estados Unidos, como uno de los componentes principales dentro de la metodología IFIM (Stalnaker, 1979; Bovee, 1982). Así, mediante un índice cuantitativo (hábitat potencial útil, HPU), esta técnica permite estimar las variaciones de la cantidad de hábitat idóneo para las especies acuáticas con los caudales circulantes. Para realizar la simulación del hábitat físico, para una especie (o grupo), es necesario contar con un modelo hidráulico del río en detalle, y también conocer los requerimientos de hábitat de la especie en términos hidráulicos.

Para la caracterización y simulación de los factores abióticos que controlan el hábitat, es necesario que la adquisición de datos se realice de manera directa, con medidas de campo; pero en algunos casos esto no es factible y entonces resulta necesario utilizar modelos de simulación. De hecho, lo más empleado suele ser una combinación de datos de campo y resultados de la simulación. Por ejemplo, una simulación hidrodinámica requiere ciertas medidas de campo como la composición del sustrato (rugosidad), valores de caudal, relación altura-caudal y la topografía; todas ellas son necesarias para utilizar el modelo.

Desde el punto de vista biológico, los datos necesarios son los requerimientos de hábitat, utilizándose generalmente los de especies continentales de peces (en bibliografía), así como las necesidades para el paso de las especies marinas en ambas direcciones.

Los objetivos de este estudio son los siguientes:

- 1) El principal objetivo es proponer un régimen de caudales ecológicos en la plana baja del Ter. Para conseguir este objetivo principal, se han realizado varios análisis, especificados como objetivos 2 y 3.
- 2) Analizar la distribución i disponibilidad del hábitat y su calidad en función del caudal. Se ha considerado el hábitat para especies pis-

cícolas de aguas dulces propias del río en sus diferentes estados vitales (alevín, juvenil y adulto).

- 3) Analizar la conectividad longitudinal del hábitat y su distribución espacial, mediante el uso de un simulador hidráulico (RHYHABSIM) y mediante sistemas de información geográfica (ArcView).

Resultados

Caracterización del tramo de estudio

El estudio se ha centrado en el tramo bajo del Ter, cerca de la desembocadura del río al mar Mediterráneo. Está ubicado en el término municipal de Torroella de Mongrí. El río está regulado por los sucesivos embalses de Sau, Susqueda y Pasteral, y sufre diversas extracciones de caudal. En la zona que nos ocupa destaca el uso del agua para los riegos, que derivan caudal para los campos por ambas orillas del río Ter. En total el área de la cuenca del Ter en este punto es de 2.948,48 km².

La Agencia Catalana del Agua ha realizado diversos estudios sobre el caudal que circularía en régimen natural, es decir, sin ninguna regulación por el hombre, de modo que reflejase el régimen de lluvias y nieves, así como de aportes sedimentarios, que hay en la cuenca hidrográfica. Así, los datos que caracterizan su régimen natural de caudales aparecen reflejados en la Tabla 1, según datos de 60 años estimados por la ACA (2004).

	Variable	
Tabla 1. Principales variables para caracterizar el régimen natural de caudales del río Ter en Torroella de Mongrí, según datos de 60 años (ACA, 2004).	Aportación media anual	844.20 hm ³
	Aportación anual máxima	2253.79 hm ³
	Aportación anual mínima	363.38 hm ³
	Número medio de días secos al año	0 días
	Caudal medio diario	26.75 m ³ /s
	Caudal diario máximo	902.02 m ³ /s
	Caudal diario mínimo	1.98 m ³ /s
	Caudal dominante (T=2 años)	241.40 m ³ /s
	Caudal dominante (T=7 años)	516.17 m ³ /s

En cuanto a las características bióticas del tramo, se ha recopilado información en varias fuentes, incluyendo la ACA, datos de pesca eléctrica

obtenidos por la Universidad de Barcelona y datos proporcionados por Marc Ordeix, como director del Centre d'Estudis dels Rius Mediterranis.

Según los datos recopilados, las familias de macroinvertebrados acuáticos presentes son: Erpobdellidae, Physidae, Unionidae, Sphaeriidae, Atyidae, Limoniidae, Anthomyidae, Chironomidae, Simuliidae, Naididae y Tubificidae (Oligochaeta), Coenagrionidae, Baetidae, Caenidae e Hydropsychidae.

Los datos de que disponemos sobre especies piscícolas, indican lo siguiente:

- Especies piscícolas no introducidas: *Barbus meridionalis*, *Squalius cephalus*, *Salaria fluviatilis*, *Anguilla anguilla*.
- Otras especies piscícolas: *Barbus graellsii* (cuena del Ebro), *Liza ramada*, *Mugil cephalus*, *Cyprinus carpio*, *Carasius auratus*, *Lepomis gibbosus*, *Gambusia holbrooki*, *Pseudorasbora parva*, *Micropterus salmoides* y *Scardinius erythrophthalmus*.

Estos son los datos disponibles desde el punto de vista biológico, que serán utilizados convenientemente, como se explica más adelante.

Sumario de resultados de campo

En el término de Torroella de Mongrí, en un tramo aguas abajo del puente del pueblo, se realizó el muestreo para la simulación del hábitat en una dimensión. Con este fin, se efectuaron 22 transectos aproximadamente equidistantes entre sí. El resumen de sus dimensiones y localización se encuentra en la Tabla 2.

X UTM	511406
Y UTM	4653167
Área m ² (entre lámina de agua)	26350
nº transectos	22
Longitud del tramo (m)	209,2
Anchura media – lámina del agua (m)	44.15
Profundidad media (m)	0,603
Velocidad media (m/s)	0,024
Caudal de calibración (m ³ /s)	0,702
Pendiente tramo	0,00045
Anchura cauce lleno (estimada)	87

Tabla 2.
Sumario de resultados de campo, para la primera campaña de muestreo (con caudal de muestreo).

Para ayudar en la localización del tramo, se ha incluido una foto de localización del tramo de estudio (zona con marco), así como una foto del tramo de estudio, durante los trabajos de muestreo de campo.



Figura 1.
Foto aérea de localización del tramo de estudio, junto a la localidad de Torroella de Montgrí.



Figura 2.
Vista hacia aguas abajo desde el tramo, tomada en verano de 2005.

Especies seleccionadas y períodos ecológicamente significativos

Son diversos los criterios de selección de especies representativas. Principalmente que sean naturales del tramo y que existan curvas de idoneidad de hábitat para ellas, en términos hidráulicos. Para ello se ha revisado la información disponible, habiéndose llegado a la lista de especies seleccionadas. Se han encontrado curvas de idoneidad de hábitat para peces, pero no para los invertebrados acuáticos presentes. A continuación incluimos la información piscícola de relevante para la simulación del hábitat:

- Especies presentes no introducidas: *Barbus meridionalis*, *Barbus graellsii*, *Squalius cephalus*, *Salaria fluviatilis* y *Anguilla anguilla*.
- Especies representativas para simulación del hábitat: *Barbus meridionalis*, *Barbus graellsii* y *Squalius cephalus*.

Sobre las especies representativas, como puede verse, no coinciden exactamente con las presentes, dado que no disponemos actualmente de curvas de preferencia de microhábitat para el blenio o fraile (*Salaria*), ni para la anguila en ríos españoles. Tanto una como otra son especies que viven sobre el fondo, así que es cuestionable que las velocidades medias afecten a su selección del hábitat. Además, la calidad del agua y posibilidad de paso entre tramos es un factor mucho más crítico para la existencia de la anguila, por lo que los criterios de conectividad longitudinal entre tramos aplicados a otros peces serán también válidos para la anguila.

Una vez escogidas las especies, es necesario realizar un cuadro de períodos biológicamente significativos. En este caso tomaremos un solo cuadro para los ciprínidos, pues sus ciclos vitales tienen gran coincidencia temporal. Aunque la selección del hábitat varía entre ellos (así como las funciones de idoneidad de hábitat), las épocas consideradas pueden ser coincidentes. Se ha decidido tomar como unidad temporal un mes. Los alevines se consideran entre abril y septiembre, los juveniles entre septiembre y mayo, y los adultos todo el año. A continuación se muestra una imagen de una de las especies significativas, el cacho (*Squalius pyrenaicus*).

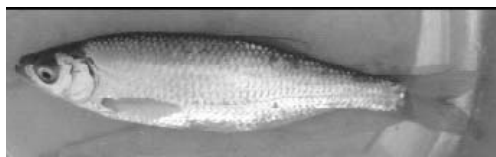


Figura 3.
Cacho (*Squalius pyrenaicus*)

Funciones de idoneidad de microhábitat

Como se ha indicado antes, los ciprínidos son la principal familia de peces en el tramo, contando con varias especies representativas y abundantes. Hasta el momento las curvas de idoneidad disponibles, basadas en datos experimentales, proceden únicamente de estudios realizados en España (Martínez Capel, 2000), pues todas ellas son endémicas. Las especies representativas en este tramo son del género *Barbus* y *Squalius*, de las cuales hay información en dicha tesis. A continuación se muestran las figuras de las curvas de idoneidad de hábitat (categoría III) de profundidad (m) y velocidad media (m/s), escogidas para los géneros *Barbus* y *Squalius* obtenidas en la Península Ibérica.

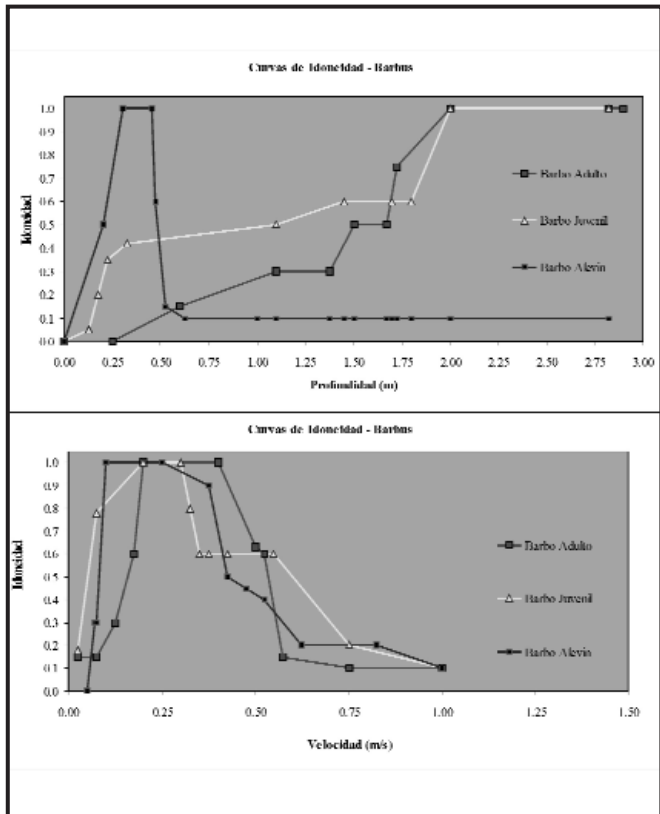


Figura 4. Curvas de idoneidad de hábitat (categoría III) de profundidad (m) y velocidad media (m/s), para *Barbus bocagei* en tres clases de longitud, elaboradas en España (Martínez Capel, 2000).

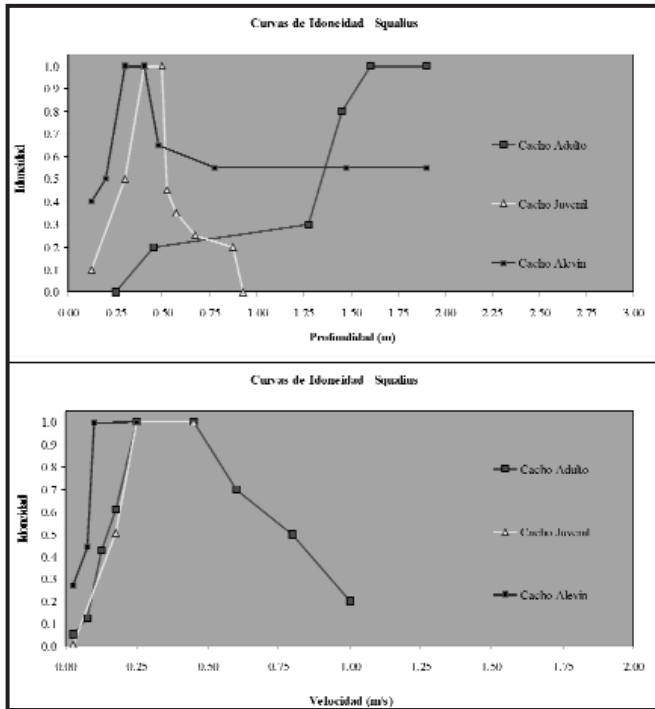


Figura 5. Curvas de idoneidad de hábitat (categoría III) de profundidad (m) y velocidad media (m/s), para *Squalius pyrenaicus* en tres clases de longitud, elaboradas en España (Martínez Capel, 2000).

Simulación hidráulica y del hábitat

Como se indicó en el apartado de *Sumario de resultados de campo*, se realizaron 22 transectos para llevar a cabo una simulación unidimensional. En la primera campaña el caudal de calibración fue distinto en los primeros cuatro transectos ($0,982 \text{ m}^3/\text{s}$) respecto de los otros 18 ($0,702 \text{ m}^3/\text{s}$), pues una de las noches de la campaña cambió el caudal. El programa RHYHABSIM permite especificar dichos cambios de caudal, aunque esto no permitiría la aplicación de la simulación del perfil de la lámina de agua. En la segunda campaña (febrero de 2006) el caudal fue de $13,77 \text{ m}^3/\text{s}$, pero la lámina de agua solo pudo medirse en los 15 transectos más aguas abajo, debido a los problemas de accesibilidad causados por el alto caudal.

Los caudales para los cuales se ha simulado el hábitat son los especificados en el *Pla sectorial de cabals de manteniment*, tal y como se ha planteado en los objetivos de este estudio. Además se han simulado

otros caudales hasta superar el máximo caudal obtenido en el nuevo régimen ambiental calculado, que se basa en la simulación del hábitat realizada. Estos valores son los siguientes (en m^3/s): 3,500 (octubre), 3,500 (noviembre), 3,500 (diciembre), 3,500 (enero), 3,500 (febrero), 3,500 (marzo), 4,550 (abril), 4,550 (mayo), 3,500 (junio), 2,800 (julio), 2,800 (agosto) y 2,800 (septiembre). También se simularon caudales entre 0 y 1 cada 0,05 m^3/s , y entre 1 y 12 cada 1,0 m^3/s .

A continuación se van a mostrar los resultados de la simulación del hábitat físico. Para ilustrar los resultados de campo, en la figura 6 se ven los planos de profundidades y velocidad media para un caudal de calibración, medido en campo, 0,702 m^3/s . A partir de los datos de velocidad, medidos en campo con molinete electromagnético (precisión 0,001 m/s), se calculan automáticamente los factores de distribución de velocidad (FDV) en cada sección transversal. Estos factores son fundamentales para obtener el modelo más preciso posible, basado en la irregularidad real de velocidades en cada sección.

A partir de los caudales de calibración mencionado antes, se seleccionaron las correspondientes curvas de gasto para cada transecto. En los transectos del 1 al 15 se escogió la curva de mejor ajuste a los puntos (sin pasar por el punto de caudal cero), mientras que en los transectos superiores (un solo caudal para la curva) se tomaron las obtenidas por la ecuación de Manning.

Como indicador de la sensibilidad del modelo a las distintas ecuaciones de gasto obtenidas en RHYHABSIM, se ha tomado la diferencia entre la cota máxima y mínima estimada por dichas curvas para el caudal más alto simulado, de 12 m^3/s , y dicho valor tuvo un máximo de 3 cm en dos transectos, lo que consideramos un resultado muy fiable. Este análisis de sensibilidad nos indica que a efectos de los resultados para la biota acuática, la elección de distintas curvas de gasto en este caso podría tener una afcción muy baja en el cálculo del hábitat potencial útil, con caudales altos. Este resultado no es en absoluto extrapolable y se ha utilizado como indicador, de modo que no es válido genéricamente para otros tramos o estudios de simulación, independientemente de que se hagan o no con el mismo programa informático.

En primer lugar nos centraremos en los resultados de las curvas que relacionan hábitat con caudal, sin considerar aún los períodos biológicamente significativos (figuras 7 y 8). La relación entre hábitat

potencial útil (HPU) y caudal ha sido representada en términos adimensionales, como porcentaje del valor máximo estimado en el tramo y como porcentaje de anchura media de hábitat útil respecto a la anchura estimada del cauce lleno. También se ha estudiado la relación del índice de calidad del hábitat (ICH) con el caudal.

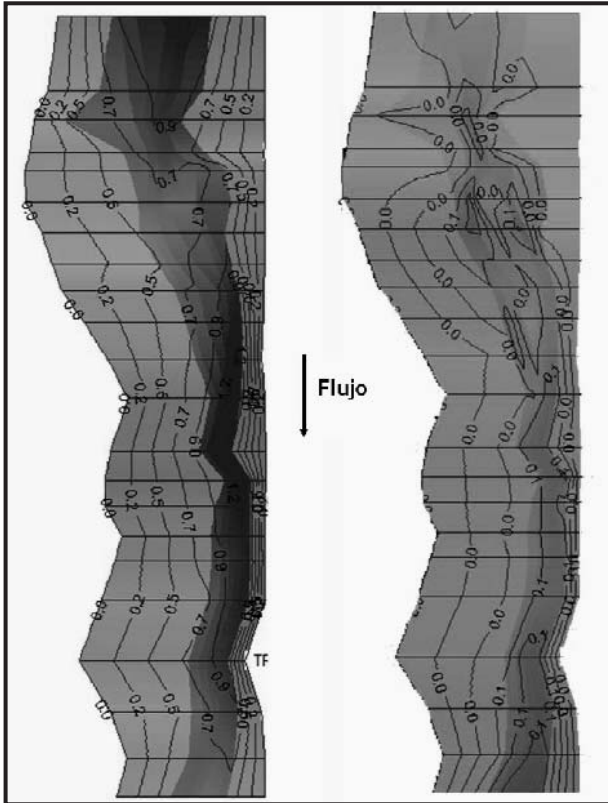


Figura 6. Planos de profundidad (m), a la izquierda, y velocidad media de la columna de agua (m/s), derecha, para el caudal de calibración de 0,702 m³/s.

Primero comentaremos los resultados obtenidos mediante curvas de preferencia de barbo, y que representan a las 3 especies presentes en el tramo (figura 7). Lo primero que se ha observado es que las curvas de las tres clases de longitud alcanzan la asíntota en el rango simulado. Por lo tanto no se da el típico perfil de la curva de alevines, en el cual se pasa sobradamente del óptimo. Esto refleja que, debido a las condiciones hidráulicas (principalmente una rugosidad muy baja y lecho arenoso) el calado y las velocidades aumentan muy lentamente

te con el caudal; de hecho en la segunda campaña (con caudal aproximado de $13,77 \text{ m}^3/\text{s}$) no se registró ninguna velocidad media superior a $0,47 \text{ m/s}$. A partir de dicha asíntota se ha calculado el valor correspondiente al 75 % de hábitat potencial máximo, para cada clase de longitud. Se han obtenido valores de $5,838 \text{ m}^3/\text{s}$ para el alevín, $3,308 \text{ m}^3/\text{s}$ para el juvenil y $6,126 \text{ m}^3/\text{s}$ para el adulto.

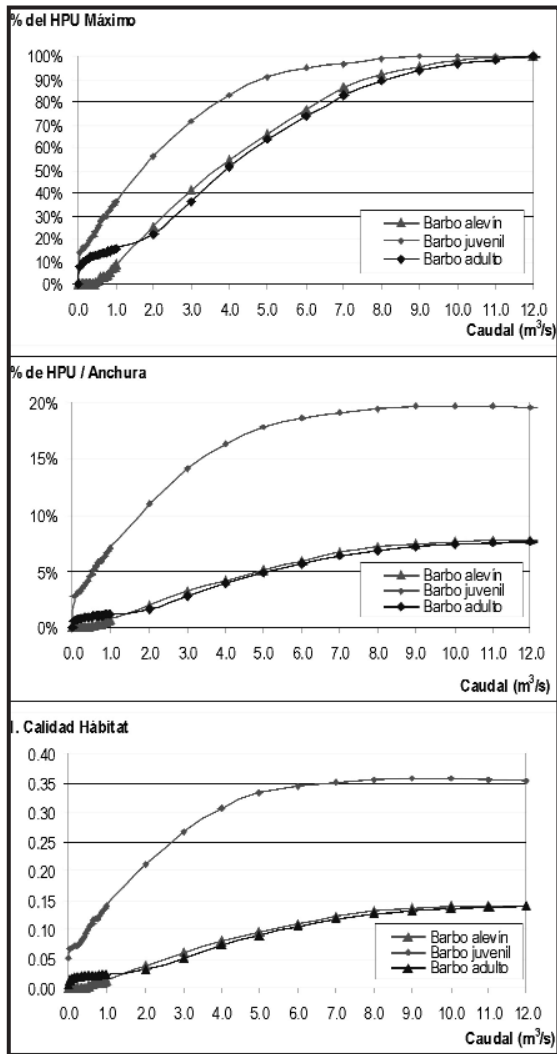


Figura 7. Variación del hábitat potencial útil (HPU) para las especies representativas de barbo en función del caudal, como porcentaje respecto al máximo del tramo y como porcentaje de la anchura del cauce. En la gráfica inferior se muestra el índice de calidad del hábitat (ICH) respecto al caudal (m^3/s).

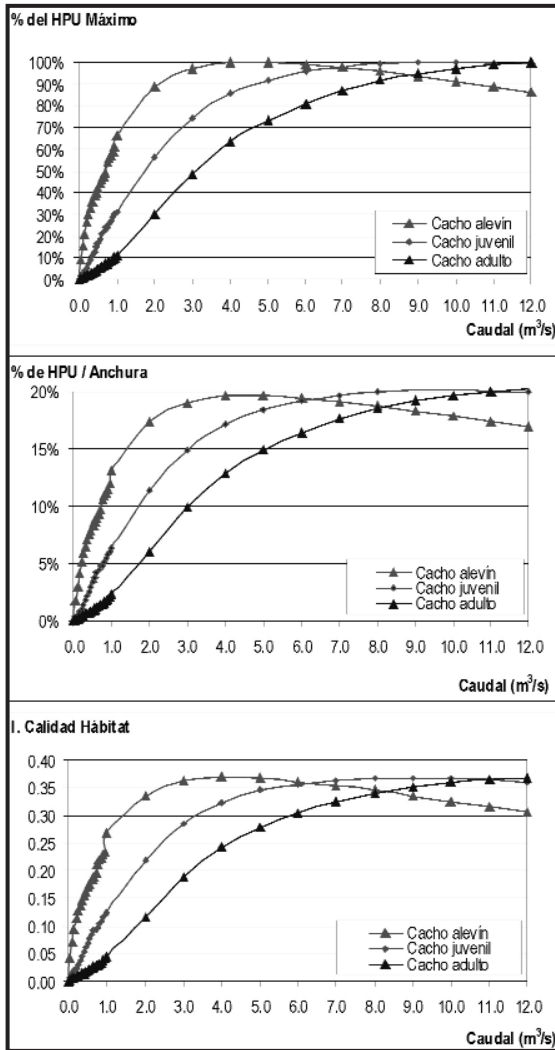


Figura 8. Variación del hábitat potencial útil (HPU) para el cacho (*Squalius pyrenaicus*) en función del caudal, como porcentaje respecto al máximo del tramo y como porcentaje de la anchura del cauce. En la gráfica inferior se muestra el índice de calidad del hábitat (ICH) respecto al caudal (m³/s).

En cuanto a la posible observación de los cambios de pendiente de las curvas, estos son muy graduales, por lo que no se dan puntos muy claros. Se puede decir que la pendiente para las curvas de alevines y adultos siempre tiene una pendiente muy baja, mientras que la de juveniles tiene un descenso fuerte y se estabiliza a partir de aproximadamente 6,5 m³/s. Este criterio no ha sido utilizado en la elaboración de un régimen de caudales.

Observando el porcentaje de HPU respecto a la anchura del cauce completo, los porcentajes de juveniles salen apreciablemente altos, hasta el 20%, mientras que para los otros no pasa del 8 %. De modo similar, la calidad media del hábitat es muy alta para juveniles, mientras que no pasa de 0,14 para los otros (valor que está más cerca de los obtenidos para el barbo en otros tramos de estudio de las cuencas internas de Catalunya).

Los resultados del cacho (figura 8) son bastante diferentes, pues se obtiene una curva más típica para alevines (pasando del punto óptimo) y se define también la asíntota para juveniles y adultos, como suele ocurrir en estudios previos. Al calcular el 75% del HPU máximo, se obtuvieron caudales de 1,381 para el alevín, 3,075 para juvenil y 5,232 m³/s para el adulto. Éste último valor es significativamente menor al obtenido para el barbo adulto, por lo que este será utilizado como caudal mensual mínimo para garantizar al menos un 75 % del HPU máximo para todas las especies. Los cambios de pendiente de las curvas también fueron muy graduales, aunque reflejan una bajada y estabilización de la pendiente a partir de 5-6 m³/s, según la clase de longitud. Por lo tanto este criterio será cumplido sobradamente con el caudal mínimo propuesto.

A partir de estos análisis se ha propuesto un nuevo régimen ambiental de caudales, alternativo al del PSCM, pues se observa que dicho plan no cumpliría con los criterios de hábitat utilizados en este estudio. A partir del caudal mensual mínimo de 6,126 m³/s, se ha diseñado un régimen ambiental de caudales paralelo al natural, conservando la proporción observada en el mes de agosto, que es de un 36,16 %. Dicho régimen alternativo, comparado con el régimen natural y el propuesto en el PSCM, aparecen reflejados en la Tabla 3.

Considerando también los períodos biológicamente significativos, sólo se han considerado en cada mes las etapas de desarrollo o clases de longitud presentes. Así para cada mes se ha representado el HPU (como porcentaje del máximo, que es distinto para cada clase). Esta gráfica (figura 9) considera la planificación propuesta en el PSCM, y tiene un mayor valor para observar la cantidad de hábitat útil y su calidad, en forma de régimen anual. Como puede verse en dicha figura, las curvas para barbos alevines y adultos están muy próximas, de modo que el nuevo caudal mínimo propuesto garantiza un mínimo del 75 % de HPU para ambas clases, en el periodo crítico del

verano. Para los juveniles se garantiza un valor óptimo del HPU, debido a la variabilidad con patrón natural que se da al régimen ambiental.

	PSCM	REG. ALTERNATIVO	REG. NATURAL
Octubre	5.500	9.706	26.840
Noviembre	5.500	9.391	25.970
Diciembre	5.500	11.289	31.220
Enero	5.500	10.074	27.860
Febrero	5.500	9.633	26.640
Marzo	5.500	10.497	29.030
Abril	7.150	11.383	31.480
Mayo	7.150	13.267	36.690
Junio	5.500	10.494	29.020
Julio	4.400	6.972	19.280
Agosto	4.400	6.126	16.940
Septiembre	4.400	7.229	19.990

Tabla 3.
Nuevo régimen de caudales de mantenimiento propuesto para el tramo Ter-6. Se muestra su comparación con el régimen natural estimado por la ACA (modelo Sacramento) y el propuesto en el PSCM.

El cambio de valoración del hábitat entre el régimen del PSCM y el nuevo propuesto es bastante apreciable, pues vemos que los caudales estivales contemplados en el plan actual indican valores de HPU que apenas llegan al 60% del máximo estimado para el tramo.

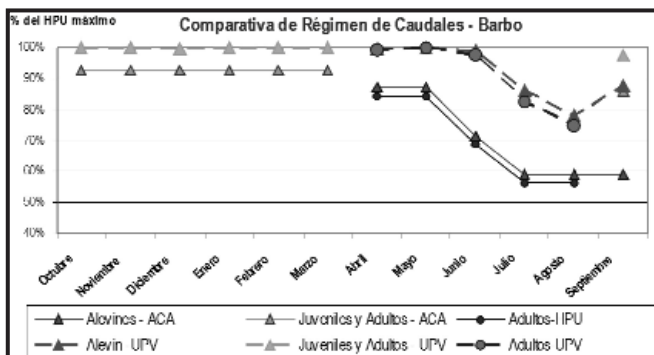
Como el cacho “demanda menos caudales” en este tramo, su valoración del HPU es mejor que para el barbo, de forma que siempre se encuentra con valores del HPU superiores al 80 % en cualquier época y cualquier talla (figura 8). Al igual que en el caso del barbo, para el cacho la propuesta de un nuevo régimen ambiental supondría una mejora importante en el hábitat idóneo disponible para la especie, respecto de las condiciones del PSCM actual. Por motivos de espacio no se ha incluido la gráfica de evolución mensual del hábitat para el cacho.

Los valores de calidad media del hábitat son bajos para el barbo, como se ha observado en otras simulaciones, debido a que se trata de un promedio del tramo. Sin embargo la media para el cacho es bastante buena, pues el promedio está entre 0,25 y 0,4 durante todo el año. Las diferencias en promedio entre la época veraniega (más limitante, con menores porcentajes de HPU) y el resto del año son

poco importantes, de modo que no es esperable que un aumento de caudales pudiese provocar un aumento significativo en estos valores.

Finalmente, podemos citar dos conclusiones obvias del estudio en este tramo. La primera es que el 10 % del caudal medio en régimen natural ($2,675 \text{ m}^3/\text{s}$) sería totalmente insuficiente en este tramo, pues supondría valores del HPU menores del 40 % para el barbo alevín y adulto, así como inferiores al 50 % para el cacho adulto. La segunda es que partir de los resultados observados, no se recomienda en ningún caso la reducción de los caudales de mantenimiento propuestos en el PSCM.

Figura 9. Variación del hábitat potencial útil (HPU) para las especies representativas de barbo en función del mes del año, según los caudales establecidos en el PSCM de la ACA.



En la gráfica superior se especifica el HPU en términos de porcentaje respecto al máximo del tramo (distinto para cada etapa de desarrollo) para el régimen del ACA y el nuevo propuesto (UPV).

Análisis de conectividad longitudinal del hábitat

Esta parte del análisis espacial del hábitat consta de análisis sencillos dirigidos a comprobar la conectividad del tramo para especies piscícolas. Los criterios establecidos han sido una profundidad mayor de 25 cm y una velocidad menor de 1m/s.

En la Figura 10 se muestran los resultados obtenidos en la simulación, referidos a la anchura del cauce que cumple estas condiciones. Se trata de la anchura continua que cumple con este criterio, en la dimensión transversal, como media de los 22 transectos considerados.

Como puede verse en dicha figura, la anchura de paso cae fuertemente por debajo de $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$, aunque estamos hablando en dicho

punto de anchuras de paso contiguas bastante elevadas. Este punto no es muy importante en nuestro análisis a estas alturas, puesto que se están manejando caudales propuestos mucho más elevados. El punto que si resulta interesante es el de $6 \text{ m}^3/\text{s}$, ya que por encima de él la anchura se estabiliza, y por tanto supone un punto de compromiso de caudal. Precisamente el mínimo mensual propuesto en este tramo es de $6,126 \text{ m}^3/\text{s}$, por lo que precisamente este análisis de conectividad confirma la idoneidad de este caudal mínimo, que está un poco por encima del umbral observado de $6,0 \text{ m}^3/\text{s}$.

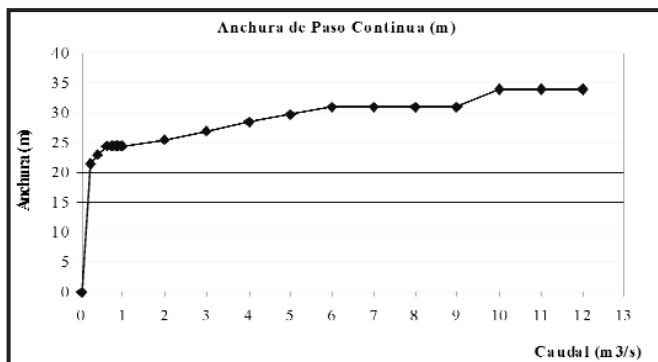


Figura 10. Anchura de paso continua estimada para el río Ter en Torroella de Montgrí, considerando un calado mínimo de 0,25 m y velocidad máxima de 1m/s.

En general podemos decir que las condiciones de paso son bastante buenas, pues se trata de una masa de agua muy bien conectada y sin obstáculos, dejando aparte el puente de Torroella, con su propia escala piscícola, cuya evaluación queda fuera del ámbito de este estudio. En cuanto al mínimo establecido en el PSCM ($4,4 \text{ m}^3/\text{s}$), que podemos evaluar a la luz de estos cálculos, vemos que supondría un valor aproximado de 29 m de anchura de paso contiguo, que no está muy lejos de los 31 m obtenidos en el punto de compromiso. Al contrario de lo que ocurría en los análisis anteriores, desde este punto de vista si se ve que el cambio de un mínimo de 4,4 a $6,126 \text{ m}^3/\text{s}$ no supondría cambios muy relevantes en la conectividad del tramo.

Análisis espacial del hábitat idóneo

Ya que el barbo ha sido la especie que ha marcado unas mayores necesidades de caudal, concretamente el barbo adulto debido a sus exigencias de profundidad, se ha elegido este grupo de peces para el análisis espacial del hábitat idóneo. Los caudales reflejados en los

mapas han sido escogidos para representar el régimen ecológico de caudales propuesto, además de los caudales propuestos por la Agencia Catalana del Agua como régimen de mantenimiento para este tramo de río. Estos han sido: 4,4 - 5,5 - 6,1 - 7,2 - 9,4 - 9,7 - 10,1 - 10,5 - 11,3 y 13,3 m³/s.

Por razón de extensión, no pueden mostrarse todos los planos realizados, por lo que solo hemos escogido tres que corresponden a situaciones muy diferentes, los caudales 4,4 - 7,2 y 13,3 m³/s. En dichos planos (figura 11) se muestran las áreas con una idoneidad del hábitat superior a 0,4, según las curvas de preferencia utilizadas de Martínez-Capel (2000). A partir de dichos mapas, mediante un SIG, se han calculado las áreas que corresponden a dicha idoneidad, que se han reflejado posteriormente en una gráfica siguiendo el orden temporal del año hidrológico. El hecho de escoger el umbral de 0,4 se debe a que es la misma metodología utilizada en estudios consultados en las cuencas internas de Catalunya, y así se considera que la selección del microhábitat no es totalmente rígida, porque los peces pueden utilizar a veces ciertas zonas de idoneidad media-baja, por ejemplo para viajar a otras zonas de hábitat idóneo o buscar refugio.

En los mapas se ha observado como la zona de hábitat útil, para barbo adulto, se reduce a un pequeño polígono, y que aparecen dos parches separados entre 7,2 y 9,4 m³/s. Dicha área corresponde a las zonas más profundas, ya que las curvas de preferencia (ver apartado "Funciones de idoneidad de microhábitat") son muy exigentes en profundidad. A caudales altos las velocidades son excesivas y no se crean los microhábitat más idóneos para el barbo, aunque el refugio encontrado en las orillas, donde precisamente aparecen estos parches, determinará esto en la realidad, de forma que el área útil podría ser algo mayor de lo estimada en este modelo, para caudales de 7,2 m³/s para arriba.

En la figura 12 se ve la evolución de caudales a lo largo del año hidrológico, según tres escenarios contemplados, en régimen natural (reg.nat.), en régimen de caudales establecido por la ACA en el *Pla sectorial de cabals de manteniment* (PSCM) y en el régimen alternativo propuesto en el presente estudio (reg.alt.). En ella misma (gráfica inferior) se ve la evolución del área útil estimada (índice de idoneidad mayor de 0,4) para barbo adulto, a lo largo del año hidrológico, según los tres escenarios contemplados.

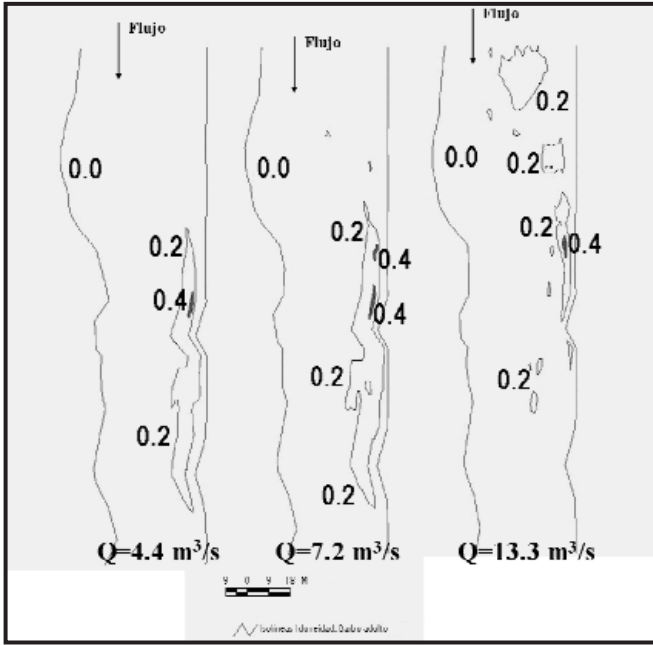
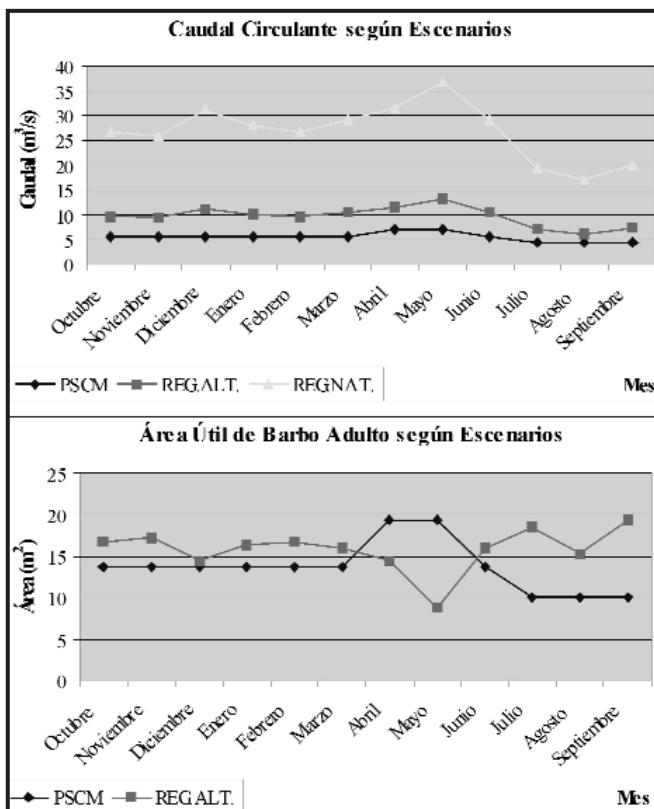


Figura 11. Planos de idoneidad para el barbo adulto ($l > 0,4$) según preferencias de *Barbus bocagei* (caudales 4,4 - 7,2 y 13,3 m^3/s).

Como puede comprobarse, el nuevo régimen alternativo cumple su objetivo, pues supone un aumento del área útil disponible para el barbo adulto en la época estival, la más crítica para muchas especies piscícolas. Dicha área, entre julio y septiembre, pasaría de una media de 10 m^2 a 17,7 m^2 , lo que supone un aumento del 70% respecto al área inicial. Por otro lado se ha observado que durante la época de máximo caudal, en mayo, la corriente es excesiva por lo cual el hábitat se reduce (respecto al PSCM). Esta es una necesidad del régimen ambiental, que debe ajustarse a las variaciones naturales, por lo que supone un estímulo necesario. Además estos son caudales necesarios para limpiar el lecho del río y para provocar una bajada brusca de temperatura, la cual induce el comienzo de la época reproductiva del barbo.

La idea final que podemos sacar de este análisis es que el nuevo régimen propuesto supone una mejora relevante respecto del PSCM, y que no consideramos necesario retocar los caudales propuestos anteriormente. La escasez de superficie idónea para el barbo común (la especie y talla más exigente en profundidad y en cuanto a refugio)

Figura 12. Evolución de caudales, según régimen natural (reg.nat.), régimen de caudales del Pla sectorial de cabals de manteniment (PSCM) y régimen alternativo propuesto en el presente estudio (reg.alt.). En la gráfica inferior se muestra la evolución del área útil, según el régimen del PSCM y el régimen alternativo propuesto en el presente estudio (reg.alt.).



nos hace pensar que unas mejoras del hábitat podrían beneficiarle, principalmente el favorecer el desarrollo de zonas profundas y la colocación de refugios artificiales, o bien pequeñas estructuras a modo de arrecife que, sin alterar la capacidad de desagüe del cauce, beneficiaran a la freza de los peces de río y también los del mar que suben por este tramo bajo del Ter (lisa, múgil, etc.). Sin embargo, como todos los modelos no son perfectos, cabe mencionar que las zonas más profundas del tramo (aguas arriba de éste) no pudieron ser topografiadas (por motivos técnicos), por lo cual existen más zonas profundas que pueden albergar a los peces grandes en momentos de bajo caudal.

Conclusiones

1- Para obtener un modelo hidráulico y del hábitat en el tramo bajo del Ter, se realizaron medidas en 22 transectos perpendiculares al cauce, junto a la localidad de Torroella de Montgrí. En la primera campaña de trabajo de campo (septiembre de 2005) los caudales medidos fueron de 0,982 y 0,702 m³/s. En la segunda campaña (febrero de 2006) el caudal fue de 13,77 m³/s.

2- El hábitat se ha valorado en función de las especies piscícolas representativas de las cuales había curvas de idoneidad de microhábitat (profundidad y velocidad media). Las especies piscícolas no introducidas son el barbo (*Barbus meridionalis*), cacho (*Squalius cephalus*), blenio (*Salaria fluviatilis*) y anguila (*Anguilla anguilla*). Las especies representativas del estudio han sido el cacho y el barbo, en sus diferentes estados vitales (alevín, juvenil y adulto). Se han utilizado curvas de idoneidad de microhábitat disponibles en estudios previos (Martínez-Capel, 2000).

3- Se ha propuesto un régimen ecológico de caudales en la plana baja del Ter (tabla 3), que se ha comparado con el actual régimen establecido en el *Pla sectorial de cabals de manteniment* de la ACA.

4- Se ha analizado la conectividad longitudinal del hábitat, mediante el uso de un simulador hidráulico y del hábitat (RHYHABSIM). Este análisis mostró que por encima de 6 m³/s la anchura de paso disponible para los peces se estabiliza, y por tanto el mínimo mensual propuesto en este tramo (6,126 m³/s) es idóneo para favorecer la comunicación entre el estuario, tramo bajo y tramos superiores del río, suponiendo un funcionamiento adecuado de la escala piscícola situada en el puente del río en la localidad mencionada.

5- Se ha analizado la distribución espacial del hábitat idóneo para el barbo adulto, ya que es el más exigente en profundidad. Mediante sistemas de información geográfica (ArcView) se ha calculado como varía su área, determinando que el nuevo régimen propuesto supone una mejora relevante respecto del PSCM, ya que supone un aumento del área útil disponible para el barbo adulto en la época estival, la más crítica para muchas especies piscícolas. Dicha área, entre julio y septiembre, tendría un aumento estimado del 70%.

6- Se ha observado que el área de hábitat idóneo para el barbo común es relativamente baja para los caudales simulados. Esto nos induce a pensar que unas mejoras del hábitat podrían beneficiarle, principalmente el favorecer el desarrollo de zonas profundas y la colocación de refugios artificiales, o bien pequeñas estructuras a modo de arrecife que, sin alterar la capacidad de desagüe del cauce, beneficiaran a la freza de los peces de río y también los del mar que suben por este tramo bajo del Ter (lisa, múgil, etc.). Sin embargo, hay que mencionar que las zonas más profundas del tramo (aguas arriba de este) no pudieron ser topografiadas (por motivos técnicos), por lo cual se ha subestimado la presencia de zonas profundas en la zona de estudio.

Bibliografía

AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA. 2006. *Pla sectorial de cabals de manteniment de les conques internes de Catalunya*.

AGÈNCIA CATALANA DE L'AIGUA. 2004. *Recull de dades. Els recursos hídrics en règim natural a les conques internes de Catalunya (1940-2000)*. Documents tècnics 2.

ALONSO, C. 2003. *Caracterización de la dinámica de poblaciones de trucha común (Salmo trutta L.) en la cuenca alta del río Tormes y de los principales factores que influyen en ella*. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid.

BAEZA, D. y D. GARCÍA DE JALÓN. 1997. "Caracterización del régimen de caudales en ríos de la cuenca del Tajo atendiendo a criterios biológicos". *Limnetica*, 13(1): 69-78.

BAEZA, D.; F. MARTÍNEZ-CAPEL y D. GARCÍA DE JALÓN. 2000. "Análisis de los efectos reguladores de las presas en la variabilidad de caudales en los ríos". *Avances en Ingeniería Ambiental*. Universidad Politécnica de Cartagena.

BALTZ, D.M. y B. VONDRACEK. 1985. *Pit 3, 4, and 5 Project Bald Eagle and Fish Study, Appendix I-D suitability and microhabitat preference curves*. Prepared for Pacific Gas & Electric Company by Biosystems Analysis, Inc. and University of California, Davis.

BOVEE, K.D. 1978. *Probability-of-use criteria for the family Salmonidae*. Instream Flow Information Paper 4. United States Fish and Wildlife Service FWS/OBS-78/07. 79pp.

BOVEE, K.D. 1982. "A guide to stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology". *U.S. Fish and Wildlife Service, Cooperative*

Instream Flow Group. Instream flow information paper 12. 248 pp.

BOVEE, K.D. 1986. "Development and evaluation of habitat suitability criteria for use in the Instream Flow Incremental Methodology". *U.S. Fish and Wildlife Service Biological Report 86(7)*. 235 pp.

BOVEE, K.D. 1997. *Data collection procedures for the physical habitat simulation system*. Biological Resources Division, United States Geological Survey, Fort Collins, Colorado. 159 p.

BOVEE, K.D.; LAMB, B.L.; BARTHOLOW, J.M.; STALNAKER, C.B.; TAYLOR, J. y HENRIKSEN, J. 1998. "Stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology". *U.S. Geological Survey, Biological Resources Division Information and Technology Report USGS/BRD-1998-2004*. Viii+131pp.

BROTONS, P. A. 1988. *Condicionamientos hidráulicos sobre la microdistribución en densidad de las poblaciones de macroinvertebrados de bentos. Estudio en un tramo del río Jarama (Madrid)*. Proyecto fin de carrera. E.T.S. de Ingenieros de Montes. Madrid.

COLLINGS, M. R.; R.W. SMITH y G.T. HIGGINS. 1972. *The hydrology of four streams in western Washington as related to several Pacific salmon species*. U.S. Geological Survey Water Supply Paper 1968. 109 pp.

COSTA, M.J.; J.M. GOMES; A. BRUXELAS y M.I. DOMINGOS. 1988. "Efeitos previsíveis da construção da barragem de Alqueva sobre a ictiofauna do rio Guadiana". *Revista de Ciencias Agrarias*, Vol. XI, nº 4: 143-163.

DE SOSTOA, A. 1983. *Las comunidades de peces del delta del Ebro*. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona. Barcelona.

DOADRIO I. 2001. *Atlas y Libro Rojo de los Peces Continentales de España*. Dirección General de Conservación de la Naturaleza y Museo Nacional de Ciencias Naturales. Madrid.

GARCÍA DE JALÓN, D. 1984. "Stream regulation in Spain". Pp.: 481-494. *Regulated Rivers*. A. Lillehammer y S.J. Salveit, editores: Universitetsforlaget. A.S. Oslo. 540 pp.

GARCÍA DE JALÓN, D. 2003. "The Spanish experience in determining minimum flow regimes in regulated streams". *Canadian Water Resources Journal* 28(2).

GARCÍA DE JALÓN, D.; B. GUTIÉRREZ; F. MARTÍNEZ-CAPEL; M. MORILLO; S. BASELGA y D. BAEZA. 1997. *Realización de la metodología de cálculo de aportaciones ambientales y caudales ecológicos mínimos en la cuenca hidrográfica del río Tajo*. Informe técnico CEDEX. Madrid (España).

GARCÍA DE JALÓN, D.; C. CASADO; E. BARCELO; M. MAYO; O. SORIANO; I. CASTRO; F. RODRÍGUEZ y R. NAVARRO. 1987. *Valoración ecológica de la*

red fluvial de la Comunidad de MADRID. Dirección General de Recursos hidráulicos. Comunidad Autónoma de Madrid.

GARCÍA DE JALÓN, D.; C. CASADO; M. MAYO y C. VILLET. 1989. *Estimación de caudales ecológicos mínimos para el río Ojailén a su paso por Puertollano*. INTECSA.

GARCÍA DE JALÓN, D.; M. MAYO; B. GALLEGU; C. SASADO y J. GARCÍA. 1992. *Fijación de caudales ecológicos mínimos para los ríos Esla, Pisuegra, Duero y Duratón*. Compañía General de Sondeo. Confederación Hidrográfica del Duero. 102 pp.

GENIVAR. 2003. *Centrale de l'Estmain et 1-A dérivation Rupert. Détermination du régime de débits réservés écologiques dans la rivière Rupert*. Rapport sectoriel for Hydro-Québec.

GORE JA, LAYZER JB y MEAD J. 2001. "Macroinvertebrate instream flow studies after 20 years: a role in stream management and restoration". *Regulated Rivers: Research and Management* 17: 527-542.

GROSSMAN, G.D. y A. DE SOSTOA. 1994a. "Microhabitat use by fishes in the lower rio Matarraña, Spain: 1984-1987". *Ecology of Freshwater Fish*, 3: 123-136.

GROSSMAN, G.D. y A. DE SOSTOA. 1994b. "Microhabitat use by fishes in the upper rio Matarraña, Spain: 1984-1987". *Ecology of Freshwater Fish*, 3: 141-152.

JOHNSON, D.H. 1980. "The comparisson of usage and availability measurement for evaluating resource preference". *Ecology*, 61(1): 65-71.

JOWETT, I.G. y BIGGS, B.J.F. 2000. *Instream habitat and flow requirements for benthic communities: Moawhango Dam -Aorangi Stream*. NIWA Client Report GPL00502.

JOWETT, I.G. 2003. "Hydraulic constraints on habitat suitability for benthic invertebrates in gravel-bed rivers". *River Research and Applications* 19: 495-507.

LAMOUREUX, N.; H. CAPRA; M. POUILLY y Y. SOUCHON. 1999. "Fish habitat preferences in large streams of southern France". *Freswater Biology*, 42: 673-687.

LEONARD, P. M., y D. J. ORTH. 1988. "Use of habitat guilds to determine instream flow requirements". *North American Journal of Fisheries Management* 8:399-409.

LOBÓN-CERVÍA, J. y B. ELVIRA. 1981. "Edad, crecimiento y reproducción de la boga de río (*Chondrostoma polylepis polylepis* Steindachner, 1865) en el

embalse de la Pinilla (río Lozoya)". *Boletín del Instituto Español de Oceanografía*, 6(3): 199-213.

MARTÍNEZ-CAPEL, F. 2000. *Preferencias de microhábitat de Barbus bocagei, Chondrostoma polylepis y Leuciscus pyrenaicus en la cuenca del río Tajo*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.

MARTÍNEZ-CAPEL, F. y D.GARCÍA DE JALÓN. 1999. "Desarrollo de curvas de preferencia de microhábitat para *Leuciscus pyrenaicus* y *Barbus bocagei* por buceo en el río Jarama (Cuenca del Tajo)". *Limnetica* 17: 71-83.

MARTÍNEZ-CAPEL, F. y D.GARCÍA DE JALÓN. 2004. "Testing a new approach to discuss weighted usable area in the Guadalquivir River Basin (South Spain)". Communication in the Fifth International Symposium on Ecohydraulics. Disponible en internet: <http://personales.gan.upv.es/fmcapel>.

MARTÍNEZ-CAPEL, F.; A. GIMENEZ MIRO y D. GARCÍA DE JALÓN LASTRA. 1999. "Preferencias de microhábitat y condiciones hidráulicas para la boga (*Chondrostoma polylepis*) y el barbo (*Barbus bocagei*) en el alto Lozoya". *Primeros Encuentros científicos del Parque Natural de Peñalara y del Valle de El Paular*. Ed. Consejería de Medio Ambiente y Desarrollo Regional de la Comunidad de Madrid.

MARTÍNEZ-CAPEL, F.; D. GARCÍA DE JALÓN y M. RODILLA-ALAMÁ. 2004. "On the estimation of nose velocities and their influence on the physical habitat simulation for *Barbus bocagei*". *Hidroecologie Appliquee*, 14(1): 139-159.

MAYO M.; B. GALLEGO; D. GARCÍA DE JALÓN y P.A. BROTONS. 1995. "Preferencias de hábitat de la trucha común en la época de freza. Río Dulce, Guadalajara". *Limnética* 11 (1): 49-54.

MAYO, M.; B. GALLEGO y D. GARCÍA DE JALÓN. 1993. "Determinación de caudales ecológicos mínimos para los ríos de la cuenca del Duero". *Actas Congreso Forestal Español. Lourizán*, Vol. IV. Pp: 169-174. Sociedad Española de Ciencias Forestales.

MILHOUS, R.T. 1986. "Development of habitat time series". *J. Water Resources Planning and Management* 112(1): 145-148.

MORHARDT, J.E. y C.F. MESICK. 1988. "Behavioral carrying capacity as a possible short term response variable". *Hydro Review* 7(2): 32-40.

POUILLY, M. y SOUCHON, Y. 1994. "Simulation de l'habitat physique du barbeau fluviatile (*Barbus Barbus*, L. 1758): Choix des modèles biologiques et sensibilité de la réponse". *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 334: 213-225.

RALEIGH, R.F., L.D. ZUCKERMAN y P.C. NELSON. 1986. *Habitat suitability index models and instream flow suitability curves: Brown trout, revised*. U.S. Fish and Wildlife Service FWS/OBS-82/10.124. 65pp.

STEFFLER, P. y BLACKBURN, J. 2002. *River-2D two dimensional depth averaged model of river hydrodynamics and fish habitat, Introduction to depth averaged modeling and user's manual*. University of Alberta.

THOMAS R. PAYNE y ASSOCIATES. 2000. *Determining appropriate HSC for use in the South Fork American River Basin. Testing the transferability of generic and California-specific HSC*. Report submitted to El Dorado Irrigation District, Placerville, California. 100pp.

THOMAS R. PAYNE y ASSOCIATES. 2002. *Selection of habitat suitability criteria for use in the Middle Fork and South Fork Stanislaus Rivers, California. Spring Gap – Stanislaus Project (FERC No. 2130) and Beardsley/Donnells Project (FERC 2005)*. Report prepared for Pacific Gas and Electric Company, San Ramon, California, and Tri-Dam Project, Pincrest, California. 93pp.

THOMAS, J.A. y BOVEE, K.D. 1993. "Application and testing of a procedure to evaluate transferability of habitat suitability criteria". *Regulated Rivers: Research and Management* 8: 285-294.

WOLFF, S.W., T.A. WESCHE, D.D. HARRIS y W.A. HUBERT. 1990. "Brown trout population and changes associated with increased minimum flows in Douglas Creek, Wyoming". *U.S. Fish and Wildlife Service Biological Report* 90 (11).