

**INFORME SOBRE LOS CAUDALES
ECOLÓGICOS MÍNIMOS
PROPUESTOS EN EL PROYECTO DE
PLAN HIDROLÓGICO PARA EL
TRAMO BOLARQUE-ARANJUEZ DEL
RÍO TAJO**



Luis Garrote de Marcos
Universidad Politécnica de Madrid





INFORME SOBRE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS MÍNIMOS PROPUESTOS EN EL PROYECTO DE PLAN HIDROLÓGICO PARA EL TRAMO BOLARQUE-ARANJUEZ DEL RÍO TAJO

ÍNDICE

1. Introducción.....	1
Antecedentes y objeto del trabajo.....	1
Objeto del trabajo y contenido del documento.....	2
2. Normativa sobre cálculo de caudales ecológicos.....	3
Reglamento de Planificación Hidrológica.....	3
Instrucción de Planificación Hidrológica	4
Métodos hidrológicos.....	5
Métodos de modelación de hábitat.....	5
3. Caudales ecológicos mínimos en los ciclos de planificación	9
Valores iniciales de los caudales ecológicos mínimos	9
Demandas ambientales en el Plan Hidrológico del Tajo de 1998.....	9
Caudales ecológicos en los Planes 2009-2015 y 2015-2021	10
Caudales ecológicos en el Plan Hidrológico 2021-2027.....	19
4. Análisis de los cálculos presentados para el eje del Tajo.....	29
Consideraciones generales.....	29
Error en la distribución de caudales adoptada para el cálculo del percentil	30
Análisis de otras cuestiones metodológicas	32
Valores propuestos de caudal ecológico.....	36
5. Análisis de otros cálculos de caudal ecológico	37
Resumen de los estudios realizados	37
Resultados obtenidos considerando un periodo único	38
Resultados obtenidos considerando un periodo húmedo y uno seco	39
Estudio de noviembre de 2019	41
6. Propuesta alternativa de cálculo de caudales ecológicos.....	43
Actualización de los estudios de CHT.....	43



Revisión de los cálculos de caudal ecológico mínimo.....	50
Propuesta de caudales ecológicos mínimos	77
7. Resumen y conclusiones	87
Resumen de resultados.....	87
Conclusiones del estudio.....	93

INFORME SOBRE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS MÍNIMOS PROPUESTOS EN EL PROYECTO DE PLAN HIDROLÓGICO PARA EL TRAMO BOLARQUE-ARANJUEZ DEL RÍO TAJO

1. INTRODUCCIÓN

Antecedentes y objeto del trabajo

El 22 de junio de 2021 el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico sometió a consulta pública el contenido la “Propuesta de Proyecto de Plan Hidrológico de la Parte Española de la Demarcación Hidrográfica del Tajo” para el ciclo de planificación 2022-2027 (en adelante, “Proyecto de Plan” o “PPHT”). Los documentos objeto de consulta son el “Resumen no técnico”, la “Normativa”, la “Memoria”, junto con 13 anejos, y el “Estudio Ambiental Estratégico”, todos ellos publicados en la página web de la Confederación Hidrográfica del Tajo. En los documentos existen vínculos que permiten acceder a fuentes de datos y a otros documentos complementarios. En el Proyecto de Plan se proponen unos valores de caudal ecológico mínimo en el eje del Tajo que difieren de los contemplados en el Proyecto de Plan.

El Sindicato Central de Regantes ha solicitado del Grupo de Investigación en Hidroinformática y Gestión del Agua de la Universidad Politécnica de Madrid un análisis crítico de la metodología empleada para la definición del régimen de caudales ecológicos propuesto en el Proyecto de Plan Hidrológico del Tajo. El análisis realizado se apoya en varios trabajos previos:

- “Estudio del régimen hidrológico para la determinación de caudales ecológicos en el tramo Aranjuez-Talavera de la Reina del río Tajo”, finalizado en septiembre de 2019
- “Estudio de la influencia del cambio climático en el régimen hidrológico de caudales ecológicos en el tramo Aranjuez-Talavera de la Reina del río Tajo”, finalizado en octubre de 2019
- “Comparación de los caudales ecológicos mínimos propuestos en el Esquema de Temáticas Importantes para el río Tajo con el régimen natural”, finalizado en febrero de 2020
- “Comparación de los caudales ecológicos mínimos propuestos en el Esquema de Temáticas Importantes para el río Tajo con el régimen actual”, finalizado en marzo de 2020
- “Informe sobre los caudales ecológicos mínimos propuestos en el Esquema Provisional de Temáticas Importantes para el tramo Bolarque-Talavera del río Tajo”, finalizado en julio de 2020.
- “Comparación de los caudales ecológicos mínimos propuestos en el Proyecto de Plan Hidrológico del Tajo para el eje del río Tajo con el régimen actual”, finalizado en octubre de 2021



El presente informe presenta los resultados de los análisis realizados.

Objeto del trabajo y contenido del documento

De acuerdo con los antecedentes presentados, presente trabajo tiene como objetivo principal el estudio de la metodología empleada para la definición del régimen de caudales ecológicos mínimos presentados a consulta pública en el Propuesta de Proyecto de Plan Hidrológico de la Parte Española de la Demarcación Hidrográfica del Tajo, en adelante PPHT.

La metodología seguida en el trabajo ha consistido en un análisis detallado de la documentación presentada en el PPHT y en los documentos técnicos que soportan las decisiones adoptadas. Se ha consultado la documentación disponible sobre los tres ciclos de planificación anteriores y el Esquema Provisional de Temas Importantes del ciclo 2021-2027.

En primer lugar, se resume la normativa sobre cálculo de caudales ecológicos por métodos hidrológicos y por métodos de simulación de hábitat. A continuación, se presentan las propuestas de caudales ecológicos mínimos realizadas en el PPHT y en los anteriores ciclos de planificación, incluyendo un resumen de la información contenida en el PPHT. En el capítulo 4 se presenta un análisis de los cálculos que han servido de base a las cifras propuestas en el PPHT, basadas en los resultados de los métodos de modelación de hábitat. Esta información se ha tomado del Plan Hidrológico del Tajo 2009, puesto que el PPHT no presenta nuevos estudios de modelación de hábitat. A continuación, se han resumido otros cálculos realizados por la empresa ICA sobre modelación de simulación de hábitat en cuatro tramos del eje del Tajo entre Bolarque y Aranjuez. Seguidamente, se han revisado los cálculos de simulación de hábitat a la vista de las nuevas series hidrológicas disponibles. En una primera parte, se han revisado los cálculos originales del Plan Hidrológico 2009, subsanando los errores materiales detectados, pero manteniendo la metodología original de análisis y los criterios adoptados en el PPHT. Seguidamente, se han revisado los cálculos en los seis tramos analizados con anterioridad, aplicando metodología única que ha consistido en un análisis anual y otro discriminado por periodos. Como conclusión del análisis, se ha realizado una propuesta de caudal ecológico mínimo en el tramo Bolarque-Aranjuez. Este análisis se presenta en el capítulo 6. Finalmente, en el capítulo 7 se resumen los resultados obtenidos y se presentan las conclusiones del estudio.

2. NORMATIVA SOBRE CÁLCULO DE CAUDALES ECOLÓGICOS

El estudio realizado ha consistido en el análisis de la metodología empleada para la definición de los caudales ecológicos mínimos propuestos en el PPHT para el eje del Tajo. En este apartado se presenta en primer lugar la consideración que tienen los caudales ecológicos en la normativa y posteriormente se detallan las directrices que se establecen para su cálculo.

Reglamento de Planificación Hidrológica

La definición legal de caudales ecológicos se establece en el Reglamento de Planificación Hidrológica, aprobado por Real Decreto 907/2007, de 6 de julio, que adaptaba la reglamentación de la planificación hidrológica a los cambios introducidos en el texto refundido de la Ley de Aguas, con motivo de la transposición de la Directiva 2000/60/CE (Directiva Marco del Agua). Con relación a los caudales ecológicos, el reglamento proporciona la siguiente definición en el Art. 3, *Definiciones*:

j) caudal ecológico: caudal 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.

A lo largo del Reglamento se concede gran importancia a la definición del régimen de caudales ecológicos y a la necesidad de su cumplimiento, que se considera prioritario y supeditado únicamente al uso para abastecimiento a poblaciones. En el Art. 17: *Prioridad y compatibilidad de usos*, se especifica:

Los caudales ecológicos o demandas ambientales no tendrán el carácter de uso, debiendo considerarse como una restricción que se impone con carácter general a los sistemas de explotación. En todo caso, se aplicará también a los caudales medioambientales la regla sobre supremacía del uso para abastecimiento de poblaciones recogida en el artículo 60.3 del texto refundido de la Ley de Aguas.

La única excepción al cumplimiento del régimen de caudales ecológicos se regula en el Art. 18: *Caudales ecológicos*, donde se indica:

En caso de sequías prolongadas podrá aplicarse un régimen de caudales menos exigente siempre que se cumplan las condiciones que establece el artículo 38 sobre deterioro temporal del estado de las masas de agua...

Para reforzar la importancia del cumplimiento, en el Art. 88. *Aspectos objeto de seguimiento específico*, se incluyen también los caudales ecológicos:

Serán objeto de seguimiento específico los aspectos que a continuación se indican:

...

c) Grado de cumplimiento de los regímenes de caudales ecológicos.

En conclusión, el Reglamento considera que los caudales ecológicos deben entenderse como una restricción previa a la asignación de recursos a las demandas del sistema, supeditado únicamente al uso de abastecimiento urbano en el caso de sequías prolongadas. Por este motivo, se considera que el incumplimiento del régimen de



caudales ecológicos es una circunstancia muy grave en la explotación, y sólo es admisible en situaciones excepcionales, entendiendo como tales aquéllas en las que se encuentre en riesgo el suministro adecuado a los usos de abastecimiento urbano.

Instrucción de Planificación Hidrológica

Como consecuencia de la aprobación del Reglamento de Planificación Hidrológica, se hizo necesario adaptar las instrucciones y recomendaciones técnicas complementarias para la elaboración de los Planes Hidrológicos de cuencas intercomunitarias (O.M. de 24 de septiembre de 1992). Esto se hizo mediante la Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre (BOE de 22 de septiembre), por la que se aprueba la Instrucción de Planificación Hidrológica. En el apartado 3.4.1.1 se especifica el objetivo y los requisitos que debe cumplir la determinación de los caudales ecológicos:

El 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, contribuyendo a alcanzar el buen estado o potencial ecológico en ríos o aguas de transición.

Para alcanzar estos objetivos el régimen de caudales ecológicos deberá cumplir los requisitos siguientes:

a) *Proporcionar condiciones de hábitat adecuadas para satisfacer las necesidades de las diferentes comunidades biológicas propias de los ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados, mediante el mantenimiento de los procesos ecológicos y geomorfológicos necesarios para completar sus ciclos biológicos.*

b) *Ofrecer un patrón temporal de los caudales que permita la existencia, como máximo, de cambios leves en la estructura y composición de los ecosistemas acuáticos y hábitat asociados y permita mantener la integridad biológica del ecosistema.*

En la Instrucción se detallan los componentes del régimen de caudales ecológicos y los procedimientos a emplear para la determinación de cada uno de ellos. En cuanto a los componentes, resulta de interés para este trabajo el componente de caudal mínimo en ríos, descrito en el apartado 3.4.1.3.1:

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.*

En cuanto a los procedimientos para su cálculo, en el apartado 3.4.1.4.1.1 se indica:

Se definirá una distribución temporal de caudales mínimos. Para ello se seleccionarán periodos homogéneos y representativos en función de la naturaleza hidrológica de la masa de agua y de los ciclos biológicos de las especies autóctonas, identificándose al menos dos períodos distintos dentro del año.

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.

Métodos hidrológicos

En su apartado 3.4.1.4.1.1.1, la Instrucción especifica la metodología a aplicar para la determinación del régimen de caudales mínimos por métodos hidrológicos, expresando lo siguiente:

Para obtener la distribución temporal de caudales mínimos, los métodos hidrológicos diferenciarán, al menos, dos periodos hidrológicos homogéneos y representativos mediante la aplicación de alguno de los siguientes criterios:

- a) *La definición de variables de centralización móviles anuales, de orden único o variable. En el caso de orden único, éste se identificará por su significación hidrológica (21 días consecutivos, por ejemplo), mientras que en el caso de orden variable, se tendrán en cuenta posibles discontinuidades del ciclo hidrológico para su identificación.*
- b) *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, preferentemente consecutivos, que presente una alternancia equilibrada entre años secos y húmedos.

En cuanto a las características de la serie hidrológica empleada en los análisis, las Instrucción especifica lo siguiente:

La serie hidrológica utilizada deberá caracterizar el régimen natural y, siempre que sea posible, se definirá a escala diaria. Para la obtención de dicha serie podrán aplicarse las siguientes metodologías:

- a) *Modelización hidrológica de series en régimen natural a escala diaria.*
- b) *Modelización hidrológica de series en régimen natural a escala mensual y posterior aplicación del patrón de distribución diario correspondiente a estaciones de control en régimen natural o cuasi-natural situadas en tramos pertenecientes al mismo tipo fluvial.*

Para la caracterización de la distribución temporal de caudales mínimos se tendrá en cuenta la clasificación en tipos establecida en 2.2.1.3.1

La Instrucción de Planificación Hidrológica establece unas directrices para el cálculo de caudales ecológicos por métodos hidrológicos, dejando un amplio margen al analista para desarrollarlas en función de los datos de partida y la situación particular en que se encuentre cada masa de agua.

Métodos de modelación de hábitat

Con relación a los métodos de modelación de hábitat, se tratan en el apartado 3.4.1.4.1.1.2, que indica lo siguiente:

La modelación de la idoneidad del hábitat se basará en la simulación hidráulica acoplada al uso de curvas de preferencia del hábitat físico para la especie o especies objetivo, obteniéndose curvas que relacionen el hábitat potencial útil con el caudal en los tramos seleccionados.



En el apartado 3.4.1.4.1.2.1 se establecen las condiciones para la selección de tramos y especies con las que se realizará el análisis. Entre otras cosas, se indica lo siguiente:

... La longitud de los tramos seleccionados ha de ser suficiente para que incluya una representación adecuada de la variabilidad física y ecológica del río.

La selección de las especies se deberá basar en la consideración de especies autóctonas, dando prioridad a las especies recogidas en los Catálogos de Especies Amenazadas dentro de las categorías de En Peligro de Extinción, Vulnerables, Sensibles a la Alteración de su Hábitat y de Interés Especial, así como a las especies recogidas en los anexos II y IV de la Directiva 92/43/CEE, de 21 de mayo de 1992. Se deberá tener en cuenta, además, la viabilidad en la elaboración de sus curvas de preferencia, y su sensibilidad a los cambios en el régimen de caudales, en particular al tipo de alteración hidrológica que sufre la masa de agua.

En el apartado 3.4.1.4.1.2.2 se indica la metodología para la obtención de las curvas de hábitat potencial útil-caudal. En este apartado se indica lo siguiente:

Para las especies objetivo se desarrollarán curvas que relacionen el hábitat potencial útil con el caudal, a partir de las simulaciones de idoneidad del hábitat. En el caso de las especies piscícolas se desarrollarán para, al menos, dos estadios del ciclo vital de la especie objetivo: talla grande-talla pequeña o adulto-juvenil-alevín.

A partir de estas curvas se podrá generar una curva combinada para facilitar la toma de decisiones y la concertación sobre un único elemento, donde se podrá reflejar el régimen propuesto correspondiente al estadio más restrictivo o más sensible. Esta curva estará generada mediante la combinación ponderada y adimensional del hábitat potenciales útiles, determinados para los estadios predominantes en los periodos temporales considerados.

La curva combinada vendrá referida, al menos, a un periodo húmedo y a otro de estiaje, considerando en cada uno de ellos la predominancia de los estadios de la especie objetivo. A falta de estudios más detallados, en época de estiaje se considerarán prioritarios los alevines y en época húmeda los juveniles frente al estadio adulto, persistente durante todo el año.

La simulación de la idoneidad del hábitat se realizará, preferentemente, mediante modelos bidimensionales. Si se utilizan modelos unidimensionales deberá justificarse su empleo.

Finalmente, el apartado 3.4.1.4.1.2.3 está dedicado a la obtención de la distribución de caudales mínimos. En este apartado se indica lo siguiente:

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:

a) Considerar el caudal correspondiente a un umbral del hábitat potencial útil comprendido en el rango 50-80% del hábitat potencial útil máximo.

b) Considerar el caudal correspondiente a un cambio significativo de pendiente en la curva de hábitat potencial útil-caudal.



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 de, al menos, 20 años.

La distribución de caudales mínimos obtenida de esta forma 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.

En el apartado 3.4.2 la Instrucción trata las masas de agua muy alteradas hidrológicamente.

En las masas de agua muy alteradas hidrológicamente se definirá un régimen de caudales con los criterios indicados en el apartado 3.4.1.4.1., en lo que se refiere a la distribución temporal de máximos y mínimos, tasa de cambio y caudal generador, ajustando los caudales mediante la simulación de la idoneidad del hábitat para las especies objetivo identificadas. Cuando se compruebe que la diferencia entre el régimen de caudales reales y el determinado por estos procedimientos es muy significativa, se realizará una estimación en la que 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. Para las demás características del régimen de caudales se propondrán escenarios adecuados a la intensidad de la alteración que presentan y, en su caso, se contemplarán las condiciones específicas que para las masas designadas como muy modificadas se hayan establecido



3. CAUDALES ECOLÓGICOS MÍNIMOS EN LOS CICLOS DE PLANIFICACIÓN

La Confederación Hidrográfica del Tajo ha publicado distintos cálculos de caudales ecológicos mínimos en los diferentes ciclos de planificación. A continuación, se describen los cálculos realizados y los resultados obtenidos en cada uno de los ciclos.

Valores iniciales de los caudales ecológicos mínimos

La demanda medioambiental actualmente vigente en Aranjuez está fijada en 6 m³/s por la Disposición Adicional Primera de la Ley 52/1980, de 16 de octubre, de Regulación del Régimen Económico de la Explotación del Acueducto Tajo-Segura (BOE del 24 de octubre), que expresa lo siguiente:

....Las dotaciones se computarán de acuerdo con el artículo octavo de la presente Ley y garantizando en el Tajo, antes de su confluencia con el Jarama (en Aranjuez), un caudal no inferior a seis metros cúbicos por segundo, siendo reguladas las operaciones de desembalse por la Comisión de Desembalse de la Confederación Hidrográfica del Tajo....

Demandas ambientales en el Plan Hidrológico del Tajo de 1998

En el Plan Hidrológico del Tajo (aprobado por Real Decreto 1664/1998, de 24 de julio; BOE de 11 de agosto), se establecieron las demandas ambientales recogidas en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1: Demandas ambientales del Plan Hidrológico del Tajo 1998

Sistema	Denominación	Asignación (hm ³ /año)
Alto Tajo	Demanda equivalente al caudal legal en Aranjuez	186,6
Tajuña	Demanda medioambiental E. la Tajera	15,72
Henares	Demanda medioambiental E. Beleña	9,24
Henares	Demanda medioambiental E. Alcorlo	5,88
Henares	Demanda medioambiental E. Pálmaces	2,52
Jarama-Guadarrama	Demanda medioambiental embalse de El Atazar	27,84
Jarama-Guadarrama	Demanda medioambiental embalse de El Vado	9,36
Jarama-Guadarrama	Demanda medioambiental embalse de El Pardo	31,1
Alberche	Demanda medioambiental E. San Juan	38,16
Tajo Medio	Demanda medioambiental Toledo	310,8
Tiétar	Demanda medioambiental embalse del Pajarero	0,12
Tiétar	Demanda medioambiental embalse de Navalcán	0,84
Tiétar	Demanda medioambiental embalse de Rosarito	16,96
Alagón	Aguas abajo del embalse del Jerte	36,24
Alagón	Agua abajo de Valdeobispo	57,6
Árrago	Demanda medioambiental embalse de Borbollón	9,48
Árrago	Demanda medioambiental embalse de Rivera de Gata	3,72
Bajo Tajo-Extremadura	Demanda medioambiental embalse de Guadiloba	2,36
Bajo Tajo-Extremadura	Demanda medioambiental embalse de Salor	0,68

Como se aprecia en la tabla, para Aranjuez se adoptó el valor de 6 m³/s, establecido como “caudal legal”. En el apartado 3.b del Artículo 11 de las



determinaciones de contenido normativo del Plan Hidrológico de cuenca del Tajo (publicadas por la Orden de 13 de agosto de 1999, BOE de 30 de agosto, disponible en <http://www.chtajo.es/LaCuenca/Planes/PlanHidrologico/OtrosDoc/Documents/A31958-31994.pdf>) se expresa lo siguiente

En tanto no estén aprobados estos estudios específicos y siempre que no esté fijada por otra normativa, se define la demanda medioambiental, con carácter orientativo y de aplicación en condiciones hidrológicas normales y siempre que no se afecte a las garantías de otros usos preestablecidos, como el volumen mensual equivalente al 50 por cien de la aportación mensual media de los meses de verano, medida en la serie de aportaciones naturales consideradas en el Plan.

El Plan Hidrológico de 1998 se basó en las series de aportaciones naturales calculadas mediante el modelo SACRAMENTO, que abarcaban el periodo 1940-41 a 1992-93. Para estas series, la aportación media de los meses de verano (julio, agosto y septiembre) para el punto correspondiente a la estación de aforos de ROEA 3011 (Aranjuez) era de 25,51 hm³/mes, que corresponde a 306,10 hm³/año y 9,85 m³/s.

Si las demandas medioambientales se determinaban por métodos específicos, el apartado 4 del Artículo 11 establecía los siguientes requisitos:

Los estudios específicos para precisar las demandas medioambientales y sus condiciones de aplicación deberán incluir:

- a) La estimación de la afección a las garantías de los restantes usos y posibilidad de asumirlas.*
- b) La evaluación de los efectos sociales y económicos.*
- c) Las alternativas para no disminuir las garantías actuales.*
- d) El seguimiento de sus efectos y análisis del cumplimiento de sus objetivos, y propuesta de revisión si procede.*

Caudales ecológicos en los Planes 2009-2015 y 2015-2021

En el Plan Hidrológico del Tajo 2009-2015 se incluyó un anejo (Anejo 5) donde se detallaban los cálculos de caudales ecológicos por diferentes métodos hidrológicos para todas las masas de agua de la cuenca. También se calcularon los caudales ecológicos mínimos por métodos hidrobiológicos para 32 masas de agua seleccionadas por su importancia estratégica. Estos mismos cálculos se tomaron como referencia para el ciclo de planificación 2015-2021, que los transcribió íntegramente como apéndices de su Anejo 5, Caudales Ecológicos. En consecuencia, los valores de caudal ecológico recogidos en ambos ciclos de planificación se presentan conjuntamente.

La metodología de los cálculos por métodos hidrológicos y por métodos hidrobiológicos se describe en el Documento Auxiliar 00, "Caudales Ecológicos", del Anejo 5 del Plan Hidrológico 2015-2021, disponible en

http://www.chtajo.es/LaCuenca/Planes/PlanHidrologico/Planif_2015-2021/Documents/PlanTajo/PHT2015-An05-DocAux00.pdf

Cálculos por métodos hidrológicos

En los cálculos por métodos hidrológicos se trabajó con las series de datos mensuales en régimen natural simulados con el modelo de precipitación-aportación SIMPA-2008, desarrollado por el CEDEX. La serie empleada correspondía al periodo 1980/81-2005/06. Los datos mensuales se desagregaron a escala diaria, pero no hay documentación sobre el procedimiento elegido para realizar la desagregación. Se menciona que se aplicó un patrón de distribución diario correspondiente a una estación de control en régimen natural o cuasinatural, situada en las proximidades y que tuviera una serie de datos lo más amplia posible, pero no se identificaron las estaciones de referencia utilizadas para cada masa.

Se realizaron cálculos por tres tipos de métodos: percentiles 5% y 15%, caudal básico de mantenimiento y media móvil de 21 y 25 días. Los métodos de caudal básico y media móvil proporcionan un único valor de caudal mínimo, que se moduló a lo largo del año empleando el “factor de variación”. Se emplearon cuatro versiones diferentes del factor de variación.

Los resultados obtenidos para todas las masas de agua se presentan en el Documento Auxiliar 01, “Fichas por masas de agua de la distribución temporal de caudales mínimos por métodos hidrológicos”, del Anejo 5 del Plan Hidrológico 2015-2021, disponible en

http://www.chtajo.es/LaCuenca/Planes/PlanHidrologico/Planif_2015-2021/Documents/PlanTajo/PHT2015-An05-DocAux01.pdf

La figura 3.1 presenta un ejemplo de ficha de cálculo de caudales ecológicos mínimos por métodos hidrológicos, correspondiente a la masa de agua 01010121, Río Tajo en Aranjuez. Se obtienen múltiples valores de caudal ecológico, en función de método empleado, el parámetro adoptado y la modulación anual. Los resultados a escala anual están comprendidos entre 10,513 m³/s (valor del percentil 5% de la serie de datos diarios) y 23, 42 m³/s (método de media móvil de 25 días con el factor de variación número 3). Estos valores suponen entre el 32 % y el 71% del caudal medio en régimen natural. En total se proponen catorce series mensuales de caudal ecológico mínimo, con valores que oscilan entre 10.51 m³/s y 28.12 m³/s.

La ficha también incluye una tabla en la que se indica la probabilidad de cumplimiento mensual de los caudales ecológicos por parte de la serie natural, que producen valores extremadamente bajos. Se han propuesto 168 valores de caudal ecológico mensual. Únicamente 6 de los 168 valores tienen una garantía temporal del 100%, lo que significa que los caudales que circulan naturalmente por el tramo son superiores a los caudales ecológicos propuestos durante todo el periodo de análisis. Hay 15 valores cuya garantía temporal es igual o menor que 50%, lo que significa que el caudal ecológico mínimo propuesto es mayor que el caudal que circula naturalmente por el río durante más de la mitad del periodo de análisis.



Caudales ecológicos mínimos PPHT Tajo

DH TAJO		ESTUDIO DE CAUDALES MÍNIMOS POR MÉTODOS HIDROLÓGICOS	
CÓDIGO MASA DE AGUA	Río Tajo en Aranjuez (FINAL DE MASA)	MASA SIMULADA	
0101021		SI	

CLASIFICACIÓN DE LA MASA	PERMANENTE
--------------------------	------------

RESULTADOS INDICADORES DEL CAUDAL ECOLÓGICO	Caudal (m³/s)	Aportación anual (hm³/año)	% s/Qnat
Q Básico (series anuales de datos diarios)	11,766 m³/s	371,06	35,97%
Percentil 5 (serie de datos diarios) *	10,513 m³/s	331,54	32,14%
Percentil 15 (serie de datos diarios) *	13,219 m³/s	416,88	40,41%
Q21 (series anuales de datos diarios)	13,884 m³/s	437,83	42,44%
Q25 (series anuales de datos diarios)	14,059 m³/s	443,38	42,98%

MEDIA DE CAUDALES (m³/s)

		Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Media anual	% s/Qnat
	Q natural	24,33	26,70	38,31	44,09	41,37	35,92	41,50	44,94	34,79	23,53	19,30	18,31	32,76	100%
	Perc 5 *	10,51	10,51	13,61	12,13	12,89	10,51	12,50	11,39	12,31	10,51	10,51	10,51	11,49	35%
	Perc 15 *	13,22	14,95	14,65	13,50	14,44	13,34	14,61	16,11	15,47	13,22	13,22	13,22	14,16	43%
Factor de variación	Qaforado **	9,71	10,48	10,45	10,67	9,17	8,73	8,02	8,35	8,18	8,81	9,41	9,92	9,32	28%
$F' \text{ var } 1 = \sqrt{\frac{Q}{Q_{\min}}}$	F var 1	1,15	1,21	1,45	1,55	1,50	1,40	1,51	1,57	1,38	1,13	1,03	1,00		
	Q básico	13,56	14,21	17,02	18,26	17,69	16,48	17,72	18,43	16,22	13,34	12,08	11,77	15,57	48%
	Q 21	16,00	16,77	20,08	21,55	20,87	19,45	20,90	21,75	19,14	15,74	14,26	13,88	18,37	56%
	Q 25	16,21	16,98	20,34	21,82	21,13	19,69	21,17	22,03	19,38	15,94	14,44	14,06	18,60	57%
$F' \text{ var } 2 = \sqrt[3]{\frac{Q}{Q_{\min}}}$	F var 2	1,10	1,13	1,28	1,34	1,31	1,25	1,31	1,35	1,24	1,09	1,02	1,00		
	Q básico	12,94	13,34	15,05	15,77	15,44	14,73	15,46	15,87	14,57	12,79	11,98	11,77	14,14	43%
	Q 21	15,26	15,74	17,76	18,61	18,22	17,38	18,24	18,73	17,20	15,09	14,13	13,88	16,69	51%
	Q 25	15,46	15,94	17,98	18,85	18,45	17,60	18,47	18,97	17,42	15,29	14,31	14,06	16,90	52%
$F' \text{ var } 3 = \sqrt{\frac{Q - Q_{\min}}{Q_{\max} - Q_{\min}}}$	F var 3	1,48	1,56	1,87	1,98	1,93	1,81	1,93	2,00	1,79	1,44	1,19	1,00		
	Q básico	17,36	18,37	21,96	23,34	22,72	21,33	22,75	23,53	21,02	16,98	14,04	11,77	19,60	60%
	Q 21	20,48	21,68	25,92	27,54	26,80	25,17	26,84	27,77	24,81	20,03	16,57	13,88	23,12	71%
	Q 25	20,74	21,95	26,24	27,89	27,14	25,49	27,18	28,12	25,12	20,29	16,78	14,06	23,42	71%
$F' \text{ var } 4 = \sqrt{\frac{\text{Perc } 15_{\text{an}}}{\text{Perc } 15_{\text{an}}}}$	F var 4	1,00	1,06	1,05	1,01	1,05	1,00	1,05	1,10	1,08	1,00	1,00	1,00		
	Q básico	11,77	12,51	12,39	11,89	12,30	11,82	12,37	12,99	12,73	11,77	11,77	11,77	12,17	37%
	Q 21	13,88	14,76	14,62	14,03	14,51	13,95	14,60	15,33	15,02	13,88	13,88	13,88	14,36	44%
	Q 25	14,06	14,95	14,80	14,21	14,70	14,12	14,78	15,52	15,21	14,06	14,06	14,06	14,54	44%

PROBABILIDAD DE CUMPLIMIENTO MENSUAL DE LOS CAUDALES HIDROLÓGICOS (%)

	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Media
Perc 5 *	88,5	96,2	100,0	100,0	96,2	96,2	100,0	96,2	96,2	92,3	92,3	84,6	94,9
Perc 15 *	80,8	88,5	88,5	84,6	88,5	88,5	92,3	84,6	88,5	84,6	69,2	65,4	83,7
$F' \text{ var } 1 = \sqrt{\frac{Q}{Q_{\min}}}$	Q básico	80,8	88,5	69,2	57,7	69,2	73,1	84,6	80,8	80,8	84,6	80,8	77,6
	Q 21	73,1	84,6	53,8	50,0	65,4	69,2	69,2	73,1	80,8	65,4	61,5	67,6
	Q 25	73,1	80,8	53,8	50,0	61,5	69,2	69,2	73,1	80,8	65,4	57,7	66,7
$F' \text{ var } 2 = \sqrt{\frac{Q}{Q_{\min}}}$	Q básico	80,8	92,3	88,5	61,5	76,9	80,8	88,5	84,6	92,3	84,6	80,8	83,0
	Q 21	80,8	88,5	65,4	53,8	69,2	69,2	76,9	76,9	80,8	73,1	61,5	71,8
	Q 25	80,8	84,6	65,4	53,8	69,2	69,2	76,9	73,1	80,8	69,2	61,5	70,8
$F' \text{ var } 3 = \sqrt{\frac{Q - Q_{\min}}{Q_{\max} - Q_{\min}}}$	Q básico	65,4	73,1	50,0	50,0	61,5	61,5	65,4	69,2	76,9	65,4	61,5	65,1
	Q 21	42,3	46,2	42,3	38,5	61,5	50,0	61,5	65,4	57,7	53,8	53,8	53,2
	Q 25	42,3	46,2	42,3	38,5	61,5	50,0	61,5	65,4	53,8	53,8	53,8	52,9
$F' \text{ var } 4 = \sqrt{\frac{\text{Perc } 15_{\text{an}}}{\text{Perc } 15_{\text{an}}}}$	Q básico	84,6	92,3	100,0	100,0	96,2	92,3	100,0	92,3	96,2	92,3	84,6	92,6
	Q 21	80,8	88,5	88,5	84,6	88,5	84,6	92,3	88,5	92,3	80,8	65,4	83,3
	Q 25	80,8	88,5	88,5	84,6	88,5	80,8	92,3	88,5	88,5	80,8	61,5	82,4

* Los percentiles 5 y 15 se han calculado para cada mes, por lo que no se han aplicado los factores de variación. El valor mensual debe ser igual o mayor que el percentil correspondiente a la serie completa, e igual o menor que el caudal natural mensual; cuando el percentil mensual obtenido no cumple alguna de estas dos condiciones, se ha adoptado el valor limitante correspondiente.

** Los datos registrados se han tomado de la EA 3258 que está a 12,2 Km del final de masa.

Fuente de datos: serie corta (de 1980-81 a 2005-06)

Figura 3.1. Ejemplo de ficha de cálculo de caudales ecológicos mínimos por métodos hidrológicos de los Planes Hidrológicos 2009-2015 y 2015-2021.

Cálculos por métodos hidrobiológicos

Los cálculos de caudales ecológicos por métodos hidrobiológicos se describen en el Documento Auxiliar 03, “Fichas por masas de agua de la distribución temporal de caudales mínimos mediante la modelización de la idoneidad del hábitat con métodos hidrobiológicos”, del Anejo 5 del Plan Hidrológico 2015-2021, disponible en

http://www.chtajo.es/LaCuenca/Planes/PlanHidrologico/Planif_2015-2021/Documents/PlanTajo/PHT2015-An05-DocAux03.pdf

Los caudales ecológicos mínimos se calcularon en 32 masas de agua, de las que cuatro están situadas en el eje del Tajo y dos de ellas en el tramo Bolarque-Aranjuez. Estos tramos se presentan en la Tabla 3.2

Tabla 3.2: Tramos de río Tajo entre Bolarque y Aranjuez analizados por simulación de hábitat.

Masa de agua	Coord X	Coord Y	Trabajo de campo	Longitud (m)	Software	Tipo
0101021	447081	4432227	28/11/2008	440	River2D	2D
0105021	502454	4456424	01/12/2008; 24/06/2009	177	RHYHABSIM	1D

El trabajo de campo para el análisis de estos dos tramos se desarrolló entre noviembre de 2008 y junio de 2009. Uno de los tramos se modeló con el software RHYHABSIM, que es un modelo 1D, y el otro con el software RIVER2D, que es un modelo 2D. Se analizó el hábitat disponible para distintas especies que disponían de curvas de preferencia de hábitat. Las curvas de preferencia de hábitat empleadas fueron las siguientes:

- Barbo común: *Barbus bocagei*: adu, ale y juv (Martínez-Capel, 2004).
- Bermejuela: *Chondrostoma arcasii*, única talla (7-14 cm) (Capel, 2009)
- Boga del Tajo: *Chondrostoma polylepis*: adu, ale y juv (Capel, 2009)
- Trucha común: *Salmo trutta*: freza, ale y juv (Capel, 2006 y Bovee, 1978)
- Trucha común: *Salmo trutta*: adulta (>20 cm) (Capel, 2009)
- Cacho: *Squalius pyrenaicus*: adu, ale y juv (Capel, 2004)
- Bordallo: *Squalius carolitertii*: verano-otoño, adu y ale (Santos et al., 2004)

En cada tramo se analizó la disponibilidad de hábitat de las especies presentes, obteniendo las curvas de hábitat potencial útil en función del caudal. Salvo en algunos casos concretos, las curvas no mostraban un pico en el rango de caudales analizados, por lo que se adoptó como 100% del hábitat potencial útil el valor correspondiente al caudal superado un 25% del tiempo (percentil 25%).

A continuación, se describen con detalle estos cálculos, puesto que son los que se han tomado como base para los caudales ecológicos definitivamente adoptados en el Proyecto de Plan Hidrológico de 2021.

Masa de agua 0101021 Aranjuez

El tramo correspondiente a la masa de agua 0101021 tiene una longitud de 450 m y se simuló mediante el software RIVER 2D. Los resultados de la simulación de hábitat de las especies presentes en la masa de agua 0101021 (barbo, cacho, boga y bermejuela) se muestran en la Figura 3.2.

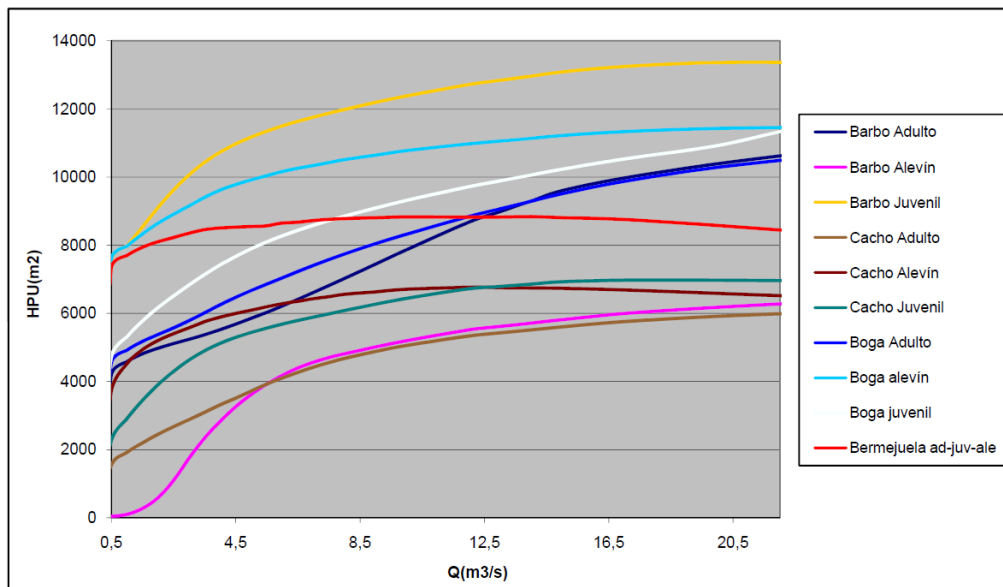


Figura 3.2. Resultado de la simulación de hábitat de las especies presentes en la masa de agua 0101021. Tomada del PHT 2009-15.

La única curva que presenta un máximo relativo es la correspondiente a la bermejuela, de 8,5 a 14 m³/s. Por este motivo, los valores de hábitat disponible se refirieron al caudal correspondiente al percentil 25%. Según el análisis realizado de la serie SIMPA 1980-81 a 2004-05, dicho caudal es de 15,349 m³/s. La Figura 3.3 presenta las curvas de porcentaje de hábitat potencial útil disponible en función del caudal, referenciadas al caudal percentil 25%, para las especies más restrictivas del tramo.

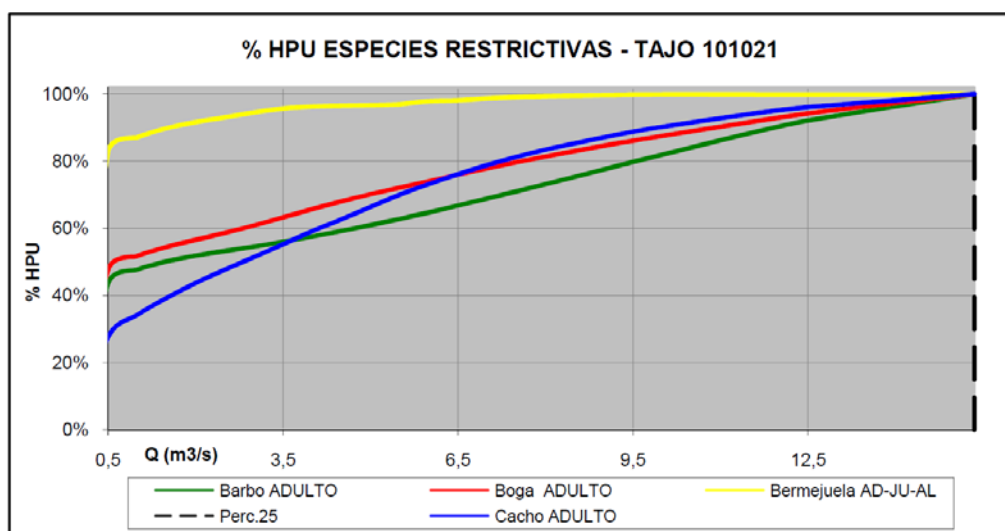


Figura 3.3. Curvas de disponibilidad de hábitat potencial útil en función del caudal para las especies más restrictivas de la masa de agua 0101021. Tomada del PHT 2009-15.

Los valores numéricos de disponibilidad de hábitat potencial útil en función del caudal se presentan en la Figura 3.4. Según el criterio empleado de adoptar el valor correspondiente al 50% del hábitat potencial útil para la especie más restrictiva (cacho adulto), el caudal ecológico mínimo en este tramo sería 2,813 m³/s. Sin embargo, el valor adoptado es 1,478 m³/s, correspondiente al 50% del hábitat potencial útil del barbo adulto.

ESTADIO	BARBO ADULTO	CACHO ADULTO	BOGA ADULTA	BERMEJUELA
HPU MAX	9601,450	5602,770	9507,610	8840,920
Q 100%	15,349	15,349	15,349	15,349
80% HPU	7681,160	4482,216	7606,088	7072,736
Q 80%	9,557	7,237	7,599	0,482
50% HPU	4800,725	2801,385	4753,805	4420,460
Q 50%	1,478	2,813	0,789	0,301
30% HPU	2880,435	1680,831	2852,283	2652,276
Q 30%	0,344	0,679	0,315	0,181
25% HPU	2400,363	1400,693	2376,903	2210,230
Q 25%	0,286	0,452	0,262	0,151

* En rojo aparecen los caudales inferiores a los simulados en el modelo hidráulico.

Figura 3.4. Valores de caudal correspondientes a distintos porcentajes de hábitat potencial útil para las especies más restrictivas de la masa de agua 0101021. Tomada del PHT 2009-15.

Masa 0105021 Almoguera

El tramo correspondiente a la masa de agua 0105021 tiene una longitud de 177 m y se simuló mediante el software RHYHABSIM. Los resultados de la simulación de hábitat de las especies presentes en la masa de agua 0105021 (barbo, cacho, boga y bermejuela) se muestran en la Figura 3.5.

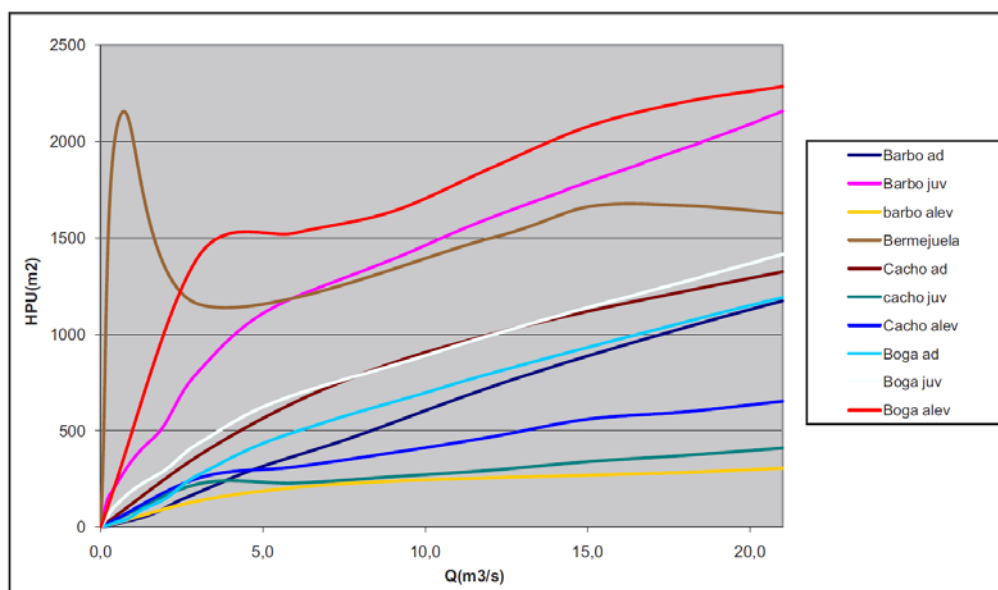


Figura 3.5. Resultado de la simulación de hábitat de las especies presentes en la masa de agua 0105021. Tomada del PHT 2009-15.

La única curva que presenta un máximo relativo es la correspondiente a la bermejuela, en $0,75 \text{ m}^3/\text{s}$. Por este motivo, los valores de hábitat disponible se refirieron al caudal correspondiente al percentil 25%. Según el análisis realizado de la serie SIMPA 1980-81 a 2004-05, dicho caudal es de $14,708 \text{ m}^3/\text{s}$. La Figura 3.6 presenta las curvas de porcentaje de hábitat potencial útil disponible en función del caudal, referenciadas al caudal percentil 25%, para las especies más restrictivas del tramo.

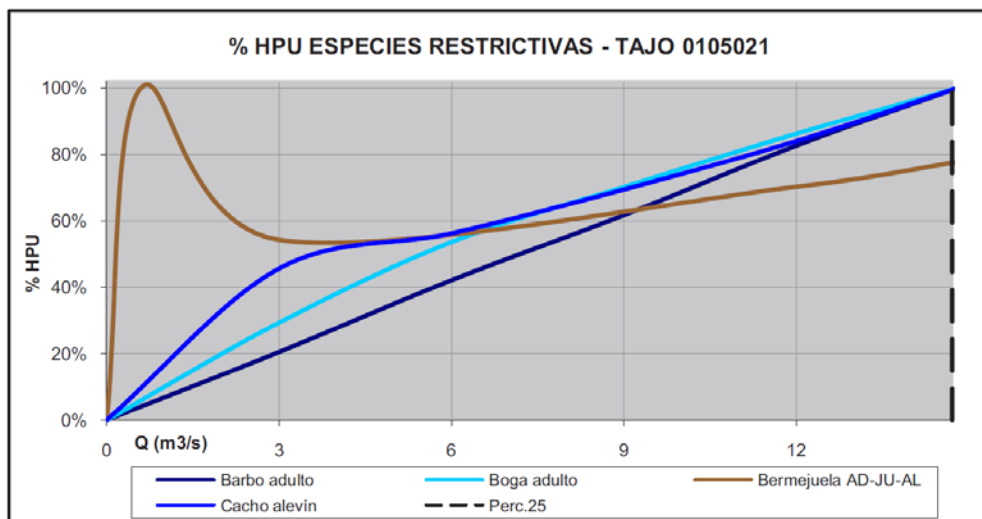


Figura 3.6. Curvas de disponibilidad de hábitat potencial útil en función del caudal para las especies más restrictivas de la masa de agua 0105021. Tomada del PHT 2009-15.

Los valores numéricos de disponibilidad de hábitat potencial útil en función del caudal se presentan en la Figura 3.7. Según el criterio empleado de adoptar el valor correspondiente al 50% del hábitat potencial útil para la especie más restrictiva (barbo adulto), el caudal ecológico mínimo en este tramo sería $7,283 \text{ m}^3/\text{s}$.

ESTADIO	BARBO ADULTO	CACHO ALEVIN	BERMEJUELA	BOGA ADULTA
HPU MAX	877,389	556,134	2133,204	923,409
Q 100%	14,708	14,708	0,600	14,708
80% HPU	701,911	444,907	1706,563	738,727
Q 80%	11,602	11,070	0,386	10,813
50% HPU	438,695	278,067	1066,602	461,705
Q 50%	7,283	3,596	0,251	5,425
30% HPU	263,217	166,840	639,961	277,023
Q 30%	4,156	0,133	0,155	3,075
25% HPU	219,347	139,034	533,301	230,852
Q 25%	3,549	0,111	0,129	2,619

Figura 3.7. Valores de caudal correspondientes a distintos porcentajes de hábitat potencial útil para las especies más restrictivas de la masa de agua 0105021. Tomada del PHT 2009-15.

Valores adoptados de caudal ecológico mínimo

En el contenido normativo del Plan Hidrológico 2009-2015 (publicado en el Real Decreto 270/2014, de 11 de abril, BOE de 12 de abril) sólo se fijaron caudales ecológicos en 16 de los 20 tramos seleccionados como “tramos estratégicos” por su importancia singular. Los caudales ecológicos mínimos establecidos para las 16 masas de agua son los recogidos en la tabla 2 del Anejo IV del contenido normativo del plan, disponible en este enlace:

<https://www.boe.es/boe/dias/2014/04/12/pdfs/BOE-A-2014-3957.pdf>

En el caso del Plan Hidrológico 2015-2021, los caudales ecológicos se fijaron en la tabla 4.3 del Apéndice 4 del contenido normativo (publicado en el Real Decreto 1/2016, de 8 de enero, BOE de 16 de enero), disponible en el enlace siguiente:

http://www.chtajo.es/LaCuenca/Planes/PlanHidrologico/Planif_2015-2021/Documents/PlanTajo/Anexo%20V-Normativa%20PHTajo.pdf

Los caudales ecológicos especificados en las 16 masas de agua estratégicas en los dos planes hidrológicos son coincidentes. Estos caudales se presentan en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3: Caudales ecológicos mínimos trimestrales en la cuenca del Tajo, en m³/s.

Masa de agua	Oct-Dic	Ene-Mar	Abr-Jun	Abr-Jun	Medio
0902021. R. Alagón desde E. Valdeobispo hasta R. Jerte	2.91	2.75	1.32	0.40	1.85
0501021. R. Alberche desde E. Cazalegas hasta R. Tajo	1.44	1.28	1.16	0.93	1.20
0802021. R. Arrago desde E. Borbollón hasta A. de Patana	0.35	0.52	0.27	0.15	0.32
0320011. R. Bornova desde E. Alcorlo hasta R. Henares	0.17	0.22	0.27	0.14	0.20
0323011. R. Cañamares desde E. Pálmaces hasta R. Henares	0.07	0.08	0.11	0.07	0.08
0145011. R. Cuervo aguas abajo de E. La Tosca	0.36	0.46	0.41	0.28	0.38
0134010. R. Guadiela desde E. Molino de Chíncha hasta R. Alcántud	0.79	0.97	0.88	0.62	0.82
0424021. R. Jarama desde E. El Vado hasta A. del Madroñal	0.40	0.52	0.57	0.32	0.45
0913010. R. Jerte desde Garganta de la Oliva hasta R. Alagón	1.07	0.96	0.91	0.50	0.86
0443021. R. Lozoya desde E. El Atazar hasta R. Jarama	0.82	0.90	1.12	0.52	0.84
0428021. R. Manzanares desde E. Manzanares el Real hasta E. El Pardo	0.46	0.51	0.57	0.23	0.44
0428021. R. Manzanares desde E. El Pardo hasta A. de Trofa	0.82	0.93	0.97	0.49	0.80
0805021. Rivera de Gata desde E. Rivera de Gata hasta R. Árrago	0.27	0.24	0.12	0.08	0.18
0316011. R. Sorbe desde E. Beleña hasta R. Henares	0.53	0.68	0.41	0.41	0.51
0202011. R. Tajuña desde E. La Tajera hasta R. Ungría	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36
0703021. R. Tiétar desde E. Rosarito hasta A. Santa María	0.85	1.00	0.54	0.35	0.69

También se especificaron en ambos planes hidrológicos los caudales mínimos en tres masas de agua estratégicas situadas en el eje del Tajo. Estas masas se relacionan en la Tabla 3.4. Para estas masas se siguió un criterio continuista con el Plan Hidrológico de 1998 y diferente del resto de las masas de agua de la cuenca. En Aranjuez se mantuvo el caudal de 6 m³/s requerido de la Ley 52/1980. En Toledo se mantuvo el caudal de 10 m³/s establecido en el Plan Hidrológico de 1998. En Talavera se fijó un caudal mínimo de 10 m³/s, coincidente con el del río Tajo en Toledo.

*Tabla 3.4: Caudales mínimos en puntos estratégicos del río Tajo, en m³/s.*

Masa de agua	Caudal mínimo
0101021. Río Tajo en Aranjuez	6,00
0607021 Río Tajo en Toledo hasta Río Guadarrama	10,00
0602021 Río Tajo desde Río Alberche hasta la cola del Embalse de Azután	10,00

La comparación de las tablas 3.1 y 3.3 permite deducir que parte de los caudales ecológicos fijados en el Plan Hidrológico 1998 fueron revisados en estos ciclos de planificación. En algunos casos se aplicaron incrementos superiores al 50%, como en los embalses de El Vado (52%), Rivera de Gata (50%) o Beleña (73%). En otros casos se aplicaron reducciones sustanciales, como en los embalses de Jerte-Plasencia (-25%), El Pardo (-18%) o La Tajera (-28%). La información disponible sobre estos dos ciclos de planificación no permite deducir el criterio que se siguió para realizar estas modificaciones, puesto que los caudales ecológicos finalmente adoptados en las masas de agua estratégicas en los planes hidrológicos de los ciclos 2009-2015 y 2015-2021 no guardan una relación aparente con los cálculos que se presentan en el Anejo 5, como puede comprobarse comparando la Tabla 3.3 con las tablas 3.5 y 3.6, que recogen los valores resultantes de los cálculos. La Tabla 3.5 corresponde a los métodos hidrológicos y la Tabla 3.6 corresponde a los métodos hidrobiológicos.

Tabla 3.5: Valores anuales de los caudales ecológicos mínimos calculados por métodos hidrológicos en las masas de agua estratégicas de la cuenca del Tajo, en m³/s.

Masa de agua	QBM	Perc 5%	Perc 15%	Q21	Q25
R. Alagón desde E. Valdeobispo hasta R. Jerte	0.306	0.271	0.684	0.426	0.453
R. Alberche desde E. Cazalegas hasta R. Tajo	0.444	0.472	1.305	0.797	0.879
R. Arrago desde E. Borbollón hasta A. de Patana	0.005	0.004	0.015	0.009	0.01
R. Bornova desde E. Alcorlo hasta R. Henares	0.108	0.062	0.18	0.095	0.097
R. Cañamares desde E. Pálmaces hasta R. Henares	0.043	0.042	0.069	0.047	0.048
R. Cuervo aguas abajo de E. La Tosca	0.446	0.399	0.516	0.55	0.564
R. Guadiela desde E. Molino de Chinchá hasta R. Alcántud	1.532	1.443	1.847	1.938	1.992
R. Jarama desde E. El Vado hasta A. del Madroñal	0.264	0.115	0.428	0.222	0.235
R. Jerte desde Garganta de la Oliva hasta R. Alagón	0.086	0.021	0.098	0.065	0.07
R. Lozoya desde E. El Atazar hasta R. Jarama	0.44	0.181	0.697	0.356	0.374
R. Manzanares desde E. Manzanares el Real hasta E. El Pardo	0.069	0.029	0.123	0.055	0.058
R. Manzanares desde E. El Pardo hasta A. de Trofa	0.112	0.112	0.238	0.137	0.144
Rivera de Gata desde E. Rivera de Gata hasta R. Árrago	0.051	0.037	0.098	0.114	0.13
R. Sorbe desde E. Beleña hasta R. Henares	0.502	0.309	0.838	0.439	0.453
R. Tajuña desde E. La Tajera hasta R. Ungría	0.885	1.007	1.257	1.25	1.3
R. Tiétar desde E. Rosarito hasta A. Santa María	0.101	0.054	0.476	0.245	0.293

Tabla 3.6: Valores anuales de los caudales ecológicos mínimos calculados por métodos hidrobiológicos en las masas de agua estratégicas de la cuenca del Tajo, en m³/s.

Masa de agua	100% HPU	80% HPU	50% HPU	30% HPU	25% HPU
R. Alagón desde E. Valdeobispo hasta R. Jerte	0.013	1.100	0.706	0.452	0.393
R. Alberche desde E. Cazalegas hasta R. Tajo					
R. Arrago desde E. Borbollón hasta A. de Patana	0.165	0.092	0.052	0.035	0.031
R. Bornova desde E. Alcorlo hasta R. Henares	0.436	0.399	0.297	0.256	0.230
R. Cañamares desde E. Pálmaces hasta R. Henares	0.112	0.088	0.046	0.025	0.019
R. Cuervo aguas abajo de E. La Tosca					
R. Guadiela desde E. Molino de Chíncha hasta R. Alcántud	2.085	1.785	1.295	0.900	0.798
R. Jarama desde E. El Vado hasta A. del Madroñal	1.500	0.847	0.427	0.257	0.216
R. Jerte desde Garganta de la Oliva hasta R. Alagón	0.448	0.425	0.358	0.305	0.291
R. Lozoya desde E. El Atazar hasta R. Jarama	1.560	1.297	0.832	0.425	0.292
R. Manzanares desde E. Manzanares el Real hasta E. El Pardo	0.320	0.235	0.134	0.071	0.054
R. Manzanares desde E. El Pardo hasta A. de Trofa	0.440	0.357	0.177	0.130	0.098
Rivera de Gata desde E. Rivera de Gata hasta R. Árrago	0.053	0.048	0.028	0.005	0.004
R. Sorbe desde E. Beleña hasta R. Henares	1.713	1.440	0.911	0.563	0.462
R. Tajuña desde E. La Tajera hasta R. Ungría	1.510	1.052	0.597	0.364	0.310
R. Tiétar desde E. Rosarito hasta A. Santa María	0.763	1.066	0.663	0.427	0.370

Caudales ecológicos en el Plan Hidrológico 2021-2027

En el presente ciclo de planificación se han presentado dos cálculos de caudales ecológicos: en el Esquema Provisional de Temas Importantes y en el Proyecto de Plan Hidrológico. A continuación, se describen los resultados obtenidos en ambos casos.

Caudales ecológicos en el Esquema de Temas Importantes

En el ANEXO II del Esquema de Temas Importantes, “Propuesta inicial de caudales ecológicos para el ciclo de planificación 2021-2027”, se presenta el planteamiento metodológico de la definición de los caudales ecológicos y se incluye la Tabla 31, donde se especifica el régimen de caudales mínimos en todas las masas de agua. Este documento está disponible en:

http://www.chtajo.es/LaCuenca/Planes/PlanHidrologico/Planif_2021-2027/Documents/PHTAJ03_ETI_12-2020.pdf

Desde el punto de vista metodológico, el ETI indica que se han seguido los siguientes criterios:

- Los caudales ecológicos mínimos fijados en el plan vigente en aquellas masas que en ese plan se consideran estratégicas, extendiéndolo a las masas próximas, pues dichos caudales fueron sometidos a participación pública.
- Caudal basado en el 50% del Hábitat Potencial Útil (HPU) en las masas de agua del río Tajo entre Bolarque y Azután.
- Para el resto de masas de agua se ha aplicado el percentil 5 ó 15 de la serie mensual de aportaciones en régimen natural del modelo SIMPA (1980-2016). [...]. El caudal ecológico del trimestre, viene dado por el menor valor mensual del percentil seleccionado

En resumen, se indica que se mantienen los valores de caudal ecológico en las 16 masas de agua estratégicas en las que se definieron caudales ecológicos mínimos en el Plan Hidrológico 2015-2021, en el eje del Tajo se aplica el criterio del 50% del HPU y en el resto de las masas de agua se aplica el percentil 5% o 15% en función de un análisis específico. En la Figura 3.8 (tomada directamente del ETI) se presenta el reparto territorial de los métodos de cálculo empleados.

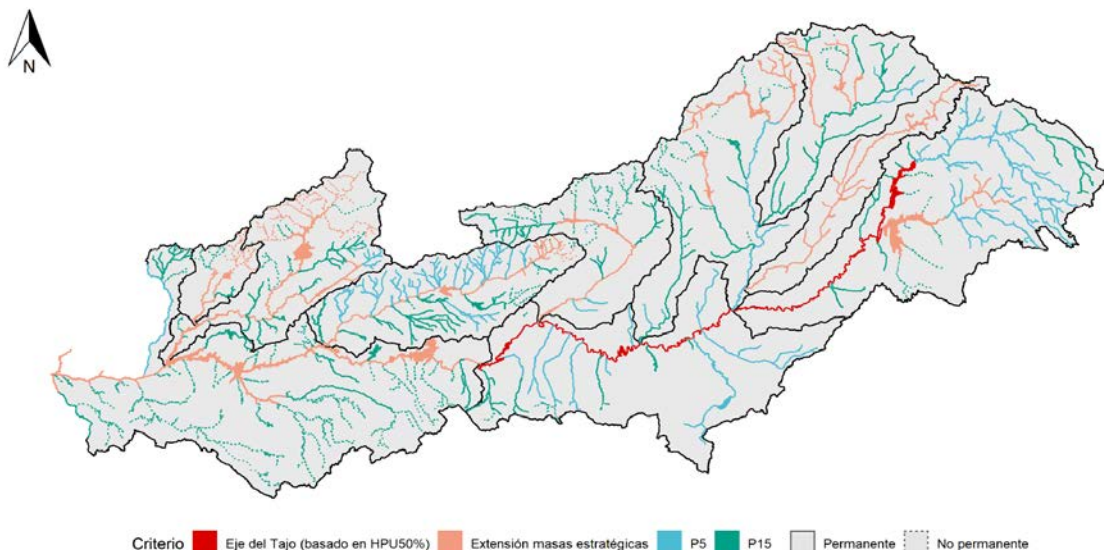


Figura 125. Representación gráfica del criterio seguido para la extensión de los caudales ecológicos mínimos a todas las masas de agua

Figura 3.8. Método de cálculo de caudales ecológicos mínimos en la cuenca del Tajo. Tomada del ETI.

En el ETI se indica que los cálculos de simulación de hábitat en los que se basan los caudales ecológicos adoptados en el eje del Tajo son los mismos que se presentaron en los dos ciclos de planificación anteriores, que se recogen en la Tabla 32, con una salvedad: los cálculos realizados en las masas de agua 0101021, Río Tajo en Aranjuez, y 0602021, Río Tajo desde Río Alberche hasta la cola del Embalse de Azután, se descartan y se sustituyen respectivamente por los realizados en las masas de agua 0105021, Río Tajo desde Embalse de Almoguera hasta Embalse de Estremera, y 0607021, Río Tajo en Toledo hasta Río Guadarrama. El argumento aportado para realizar la corrección figura en una nota a pie de la página 273 del EPTI, que indica lo siguiente:

“Por la singularidad hidromorfológica del tramo de estudio de los indicadores hidrobiológicos, los valores del HPU50% y HPU30% salen bastante reducidos. Por cuestiones de continuidad del régimen fluvial se consideran como valores más representativos los calculados para las masas de agua del Tajo en Almoguera. Por consistencia, aunque la diferencia sea menor, se realiza lo mismo con el HPU80%”.

La corrección realizada en Aranjuez puede apreciarse en la Figura 3.9.

INDICADORES HIDROBIOLÓGICOS

Código MSPF	Nombre MSPF	Q HPU80%	Q HPU50%	Q HPU30%	Especie seleccionada
ES030MSPF0101021	Río Tajo en Aranjuez	9,56 m³/s 11,60 m³/s ⁴⁸	1,48 m³/s 7,28 m³/s	0,34 m³/s 4,16 m³/s	Barbo adulto
ES030MSPF0105021	Río Tajo desde Embalse de Almoguera hasta Embalse de Estremera	11,60 m³/s	7,28 m³/s	4,16 m³/s	Barbo adulto
ES030MSPF0112010	Río Tajo desde Arroyo de la Fuentecilla hasta Río Ablanquejo	3,60 m³/s	2,03 m³/s	1,39 m³/s	Barbo adulto
ES030MSPF0134010	Río Guadiela desde Embalse del Molino de Chíncha hasta Río de Alcantud	1,79 m³/s	1,30 m³/s	0,90 m³/s	Trucha adulta
ES030MSPF0202011	Río Tajuña desde Embalse de la Tajera hasta Río Ungria	1,05 m³/s	0,60 m³/s	0,36 m³/s	Boga adulta

Figura 3.9. Fragmento de la Tabla 32 donde figuran los indicadores hidrobiológicos adoptados en las masas de agua analizadas. Tomada del ETI.

Con relación a los métodos hidrológicos, se indica que la caracterización hidrológica de la nueva red de masas de agua se ha realizado teniendo en cuenta las aportaciones mensuales en régimen natural en el periodo 1980-2016, caracterizadas por el modelo de precipitación-escorrentía SIMPA desarrollado por el CEDEX. En el documento se incluye el siguiente enlace a la fuente de datos:

<https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/evaluacion-de-losrecursos-hidricos/evaluacion-recursos-hidricos-regimen-natural/>

Este enlace corresponde a una versión actualizada del modelo SIMPA, que produce resultados distintos a los empleados en los dos ciclos de planificación anteriores. Por consiguiente, los cálculos de caudales ecológicos por métodos hidrológicos realizados en dichos ciclos requieren ser actualizados. El ETI se remite a un documento que incluye unos gráficos, tablas y mapas por masa de agua con la propuesta del régimen de caudales ecológicos mínimos para todas las masas de agua. El documento se puede descargar en el siguiente enlace:

http://www.chtajo.es/LaCuenca/Planes/PlanHidrologico/Planif_2021-2027/Documents/PHT3_EpTI_Apendice_01-2020.zip

En la figura 3.10 se presenta un ejemplo de la ficha elaborada para cada masa de agua, con un detalle de la tabla de cálculo. El ejemplo corresponde a la masa de agua 0101021. Río Tajo en Aranjuez. Los cálculos se realizaron aplicando el método de los percentiles 5% y 15%, tomando en cada trimestre el mínimo valor del percentil calculado a escala mensual en esos tres meses.

Aportaciones, valores de referencia y valores propuestos

	oct	nov	dic	ene	feb	mar	abr	may	jun	jul	ago	sep
Min	4,94	5,08	5,33	6,32	8,29	6,42	8,48	7,10	7,25	5,90	5,00	4,62
P5	5,62	7,45	8,28	8,41	8,79	7,39	9,02	8,44	7,51	6,22	6,59	5,83
P15	8,73	10,53	10,77	9,47	9,73	10,13	12,93	13,00	10,71	8,53	7,64	7,28
P25	11,27	13,48	11,32	10,85	11,32	11,70	17,11	14,72	13,00	9,68	8,83	8,03
Mediana	14,68	18,51	16,18	17,23	23,76	28,26	35,54	26,21	19,69	17,38	13,81	13,58
Media	21,76	25,30	37,14	34,43	37,27	41,42	38,68	33,86	24,73	17,13	14,47	13,81
P75	22,13	25,24	37,65	31,72	50,14	51,34	54,54	45,57	28,66	23,62	19,85	17,85
Max	85,15	130,37	199,46	202,76	140,78	196,64	102,50	122,11	156,60	43,88	35,66	30,34
Min. Perc. 5 trimestre	5,62	5,62	5,62	7,39	7,39	7,39	7,51	7,51	7,51	5,83	5,83	5,83
Min. Perc. 15 trimestre	8,73	8,73	8,73	9,47	9,47	9,47	10,71	10,71	10,71	7,28	7,28	7,28
HPU 80%	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60	11,60
HPU 50%	7,28	7,28	7,28	7,28	7,28	7,28	7,28	7,28	7,28	7,28	7,28	7,28
HPU 30%	4,16	4,16	4,16	4,16	4,16	4,16	4,16	4,16	4,16	4,16	4,16	4,16
Q ecol. mínimo	8,37	8,37	8,37	9,76	9,76	9,76	8,74	8,74	8,74	7,20	7,20	7,20

Figura 3.10. Detalle de la tabla de cálculo de caudales ecológicos por métodos hidrológicos correspondiente a la masa de agua 0101021 Río Tajo en Aranjuez. Tomada del ETI.

El resultado de la aplicación de los métodos se presenta en la Tabla 31 del Anexo II, donde se relacionan todas las masas de agua y su caudal ecológico mínimo a escala trimestral. Como resumen, se presenta la Tabla 3.7, que recoge los caudales ecológicos mínimos propuestos para las 16 masas de agua estratégicas. Estos caudales coinciden sensiblemente con los asignados en los dos ciclos de planificación anteriores.

Tabla 3.7: Caudales ecológicos mínimos trimestrales propuestos en el ETI para las masas de agua estratégicas de la cuenca del Tajo, en m³/s.

Masa de agua	Oct-Dic	Ene-Mar	Abr-Jun	Jul-Sep	Media
0902021. R. Alagón desde E. Valdeobispo hasta R. Jerte	2.910	2.750	1.320	0.400	1.845
0501021. R. Alberche desde E. Cazalegas hasta R. Tajo	1.440	1.280	1.160	0.930	1.203
0802021. R. Arrago desde E. Borbollón hasta A. de Patana	0.350	0.520	0.270	0.150	0.323
0320011. R. Bornova desde E. Alcorlo hasta R. Henares	0.170	0.220	0.270	0.140	0.200
0323011. R. Cañamares desde E. Palmaces hasta R. Henares	0.070	0.080	0.110	0.070	0.083
0145011. R. Cuervo aguas abajo de E. La Tosca	0.360	0.460	0.410	0.280	0.378
0134010. R. Guadiela desde E. Molino de Chinchá hasta R. Alcántud	0.790	0.970	0.880	0.620	0.815
0424021. R. Jarama desde E. El Vado hasta A. del Madroñal	0.400	0.520	0.570	0.320	0.453
0913010. R. Jerte desde Garganta de la Oliva hasta R. Alagón	1.070	0.960	0.910	0.500	0.860
0443021. R. Lozoya desde E. El Atazar hasta R. Jarama	0.820	0.900	1.120	0.520	0.840
0428021. R. Manzanares desde E. Manzanares el Real hasta E. El Pardo	0.820	0.930	0.970	0.490	0.803
0428021. R. Manzanares desde E. El Pardo hasta A. de Trofa	0.820	0.930	0.970	0.490	0.803
0805021. Rivera de Gata desde E. Rivera de Gata hasta R. Árrago	0.270	0.240	0.120	0.080	0.178
0316011. R. Sorbe desde E. Beleña hasta R. Henares	0.530	0.680	0.410	0.410	0.508
0202011. R. Tajuña desde E. La Tajera hasta R. Ungría	0.360	0.360	0.360	0.360	0.360
0703021. R. Tiétar desde E. Rosarito hasta A. Santa María	0.850	1.000	0.540	0.350	0.685

Los resultados de los cálculos recogidos en el Apéndice del ETI para las masas de agua estratégicas se resumen en las tablas 3.8 y 3.9. La Tabla 3.8 corresponde a los métodos hidrológicos y la Tabla 3.9 corresponde a los métodos hidrobiológicos.

Tabla 3.8: Valores los caudales ecológicos mínimos calculados por métodos hidrológicos en el ETI para las masas de agua estratégicas de la cuenca del Tajo, en m³/s.

Masa de agua	Perc	oct-dic	ene-mar	abr-jun	jul-sep
R. Alagón desde E. Valdeobispo hasta R. Jerte	5%	4.460	2.560	0.380	0.120
	15%	7.320	3.830	0.740	0.170
R. Alberche desde E. Cazalegas hasta R. Tajo	5%	2.900	3.660	1.380	0.780
	15%	4.070	5.030	1.600	1.020
R. Arrago desde E. Borbollón hasta Arroyo de Patana	5%	0.118	0.072	0.024	0.010
	15%	0.308	0.218	0.042	0.020
R. Bornova desde E. Alcorlo hasta R. Henares	5%	0.058	0.068	0.083	0.034
	15%	0.108	0.165	0.134	0.055
R. Cañamares desde E. Pálmaces hasta R. Henares	5%	0.019	0.034	0.054	0.021
	15%	0.061	0.068	0.089	0.036
R. Cuervo aguas abajo de E. La Tosca	5%	0.351	0.531	0.528	0.398
	15%	0.500	0.639	0.662	0.497
R. Guadiela desde E. Molino de Chinchá hasta R. de Alcantud	5%	0.886	1.359	1.333	1.005
	15%	1.242	1.616	1.679	1.264
R. Jarama desde E. El Vado hasta A. del Madroñal	5%	0.970	0.849	0.108	0.029
	15%	1.956	1.086	0.265	0.041
R. Jerte desde G. la Oliva hasta R. Alagón	5%	2.170	2.380	1.690	0.520
	15%	2.630	4.010	2.150	0.660
R. Lozoya desde E. El Atazar hasta R. Jarama	5%	0.176	0.309	0.030	0.008
	15%	0.444	1.061	0.148	0.012
R. Manzanares desde E. Manzanares el Real hasta E. El Pardo	5%	0.007	0.030	0.003	0.000
	15%	0.190	0.449	0.006	0.001
R. Manzanares desde E. El Pardo hasta A. Trofa	5%	0.036	0.072	0.043	0.006
	15%	0.200	0.482	0.076	0.013
Rivera de Gata desde E. Rivera de Gata hasta R. Árrago	5%	0.273	0.259	0.072	0.035
	15%	0.590	0.487	0.133	0.072
R. Sorbe desde E. Beleña hasta R. Henares	5%	0.375	0.521	0.269	0.092
	15%	0.637	0.745	0.416	0.120
R. Tajuña desde E. La Tajera hasta R. Ungría	5%	0.758	0.980	1.045	0.795
	15%	1.135	1.170	1.363	0.977
R. Tiétar desde E. Rosarito hasta A. Santa María	5%	6.760	8.920	6.400	4.520
	15%	8.080	13.960	7.160	4.850

Tabla 3.9: Valores de los caudales ecológicos mínimos calculados por métodos hidrobiológicos en el ETI para las masas de agua estratégicas de la cuenca del Tajo, en m³/s.

Masa de agua	Especie	Criterio	100% HPU	80% HPU	50% HPU	30% HPU	25% HPU
R. Alagón desde E. Valdeobispo hasta R. Jerte	Barbo ad.	Perc 15%	0.671	0.571	0.391	0.274	0.244
R. Alberche desde E. Cazalegas hasta R. Tajo							
R. Arrago desde E. Borbollón hasta Arroyo de Patana	Trucha ale.	Max	0.165	0.092	0.052	0.035	0.031
R. Bornova desde E. Alcorlo hasta R. Henares	Boga ad.	Perc 20%	0.313	0.280	0.175	0.135	0.119
R. Cañamares desde E. Pálmaces hasta R. Henares	Cacho ad.	Perc 25%	0.112	0.088	0.046	0.025	0.019
R. Cuervo aguas abajo de E. La Tosca							
R. Guadiela d. E. Molino Chinchá hasta R. Alcantud	Trucha ad.	Perc 25%	2.085	1.785	1.295	0.900	0.798
R. Jarama desde E. El Vado hasta A. Madroñal	Boga ad.	Max	1.500	0.847	0.427	0.257	0.216
R. Jerte desde Garganta de la Oliva hasta R. Alagón	Barbo ad.	Perc 25%	0.448	0.425	0.358	0.305	0.291
R. Lozoya desde E. El Atazar hasta R. Jarama	Cacho ad.	Perc 20%	1.121	0.892	0.517	1.670	0.105
R. Manzanares desde E. Manzanares hasta E. Pardo	Boga ad.	Perc 25%	0.320	0.235	0.134	0.071	0.054
R. Manzanares desde E. El Pardo hasta A. Trofa	Boga ad.	Perc 25%	0.440	0.357	0.177	0.130	0.098
R. Gata desde E. Rivera de Gata hasta R. Árrago	Trucha ad.	Perc 25%	0.053	0.048	0.028	0.005	0.004
R. Sorbe desde E. Beleña hasta R. Henares	Boga ad.	Perc 15%	0.911	0.741	0.455	0.271	0.228
R. Tajuña desde E. La Tajera hasta R. Ungría	Boga ad.	Perc 25%	1.510	1.052	0.597	0.364	0.310
R. Tiétar desde E. Rosarito hasta Arroyo Santa María	Trucha juv.	Perc 25%	0.763	1.066	0.663	0.427	0.370

No resulta fácil establecer una relación directa entre los resultados de los cálculos y los caudales ecológicos propuestos en las masas de agua estratégicas. En algunos casos los caudales ecológicos son superiores a los calculados, mientras que en otros resultan inferiores. Tampoco se aprecia un criterio uniforme en la identificación del percentil que se asigna al 100% del Hábitat Potencial Útil, puesto que se emplea el percentil 25% en ocho ocasiones, el percentil 20% en dos ocasiones y el percentil 15% en dos ocasiones.

Los valores de caudal ecológico propuestos en el ETI para el eje del río Tajo se presentan en la tabla 3.10. La aplicación de la metodología adoptada en el ETI para el cálculo del caudal ecológico mínimo ha supuesto en el eje del Tajo un incremento del caudal mínimo recogido en los anteriores procesos de planificación del 42% en Aranjuez, del 70% en Toledo y del 78% en Talavera de la Reina.

Tabla 3.10: Caudales ecológicos mínimos propuestos en el ETI para el eje del río Tajo, en m³/s.

Masa de agua	oct-dic	ene-mar	abr-jun	jul-sep
0101021. Río Tajo en Aranjuez	8.370	9.760	8.740	7.200
0105021. Río Tajo edesde E. Almoguera hasta E. Estremera	8.300	9.690	8.740	7.200
0607021 Río Tajo en Toledo hasta Río Guadarrama	18.100	20.400	16.300	13.000
0602021 R. Tajo desde R. Alberche hasta la cola del E. Azután	20.000	22.000	16.300	13.000

Desde el punto de vista metodológico, en el eje del Tajo se adoptó el criterio de aplicar el método hidrobiológico considerando un porcentaje del 50% del hábitat potencial útil. Los resultados de los cálculos de caudal ecológico presentados en el ETI para el eje del Tajo se muestran en la tabla 3.11. Estos resultados únicamente coinciden con los caudales finalmente propuestos en el trimestre de verano de dos de las cuatro masas de agua. La discrepancia se debe a dos motivos. En primer lugar, se adoptó el criterio de tomar el valor mayor de hábitat potencial útil obtenido en las combinaciones Almoguera-Aranjuez y Toledo-Talavera. En segundo lugar, a pesar de haber analizado las especies en distintos estados de desarrollo, los resultados de hábitat potencial útil sólo se consideraron válidos para el trimestre de verano. Para modular los valores a lo largo del año se aplicó posteriormente un factor de variación basado en una expresión matemática. La expresión del factor de variación empleado es la siguiente:

$$F_i = \sqrt[3]{\frac{Q_i}{Q_{min}}}$$

Donde F_i es el factor de variación del trimestre i , Q_i el caudal medio del trimestre i y Q_{min} el mínimo caudal medio trimestral. Este método resulta en coeficientes superiores a la unidad, que incrementan el valor del caudal ecológico obtenido por los métodos propuestos en la Instrucción de Planificación Hidrológica.

Tabla 3.11: Valores de los caudales ecológicos mínimos calculados por métodos hidrobiológicos en el ETI para el eje del río Tajo, en m³/s.

Masa de agua	Especie	Criterio	100% HPU	80% HPU	50% HPU	30% HPU	25% HPU
Río Tajo en Aranjuez	Barbo ad.	Perc 25%	15.349	9.557	1.478	0.344	0.285
Río Tajo desde E. Almoguera hasta E. Estremera	Barbo ad.	Perc 25%	14.708	11.602	7.283	4.158	3.549
Río Tajo en Toledo hasta Río Guadarrama	Boga ad.	Perc 15%	27.895	20.503	13.031	8.763	7.651
R. Tajo desde R. Alberche hasta la cola del E. Azután	Barbo ad.	Perc 25%	41.893	27.831	4.745	2.847	2.372

En el resto de las masas de agua de la cuenca se aplicaron directamente los métodos de cálculo hidrológicos basados en percentiles, adoptando el valor del 5% o el 15% en función de circunstancias locales. El resultado de los análisis realizados puede apreciarse en forma global en la Figura 3.11 (tomada directamente del ETI), donde se representa el porcentaje que supone el caudal ecológico mínimo adoptado sobre el caudal medio anual en el emplazamiento correspondiente.

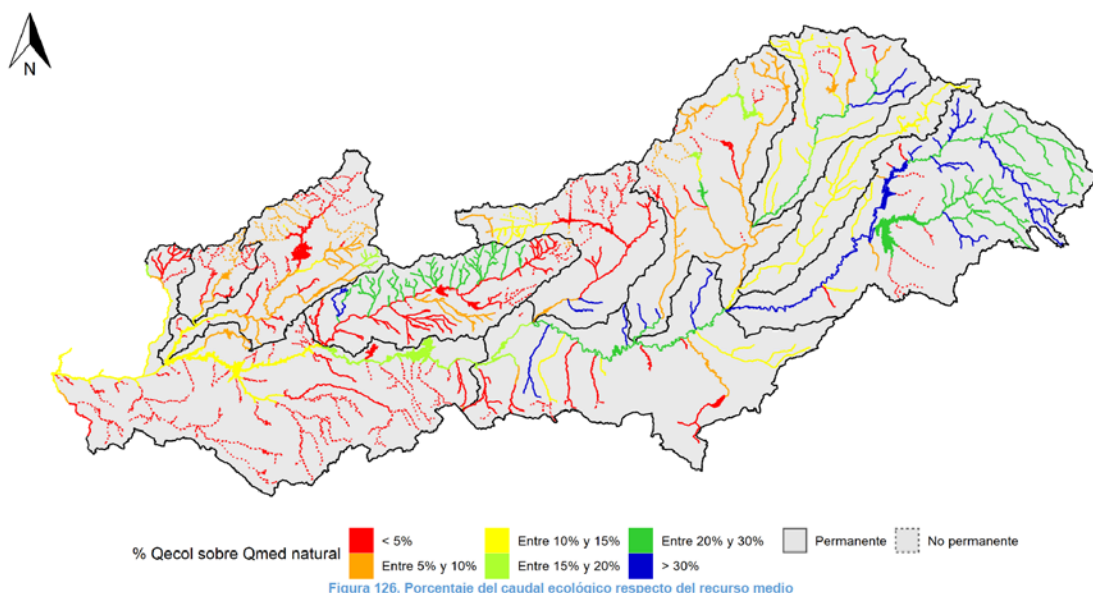


Figura 3.11. Resultado de la aplicación de la metodología de definición de caudal ecológico mínimo en la cuenca del Tajo. Tomada del ETI.

En la Figura 3.11 se puede apreciar que, en el tramo de cabecera del Tajo comprendido entre Bolarque y Aranjuez, el caudal ecológico especificado supone más del 30% del caudal medio anual.

Caudales ecológicos en el Borrador del Proyecto de Plan Hidrológico

Los caudales ecológicos mínimos se volvieron a modificar en el Borrador del Proyecto de Plan Hidrológico. Las modificaciones y su justificación se detallan en el Anejo 5, Caudales Ecológicos, que está disponible en el siguiente enlace:

http://www.chtajo.es/LaCuenca/Planes/PlanHidrologico/Planif_2021-2027/Documents/BorradorPHT_2021-2027/PHT2227_An05_CaudalesEcologicos.pdf

Las modificaciones introducidas entre el ETI y la Propuesta de Plan Hidrológico son numerosas. En primer lugar, el Anejo 2 del documento, Inventario de Recursos Hídricos, indica que se ha elaborado un nuevo juego de series de aportación en régimen



natural, obtenido mediante transformación de las series originales del modelo SIMPA para adaptarlas a la restitución del régimen natural que se ha realizado en numerosas estaciones de aforo de la cuenca. Por tanto, ha sido necesario volver a calcular los percentiles de las distribuciones de caudal a partir de las nuevas series. Las nuevas series pueden descargarse en el siguiente enlace:

<http://www.chtajo.es/LaCuenca/RecursosHidricos/Paginas/default.aspx>

También se ha modificado el criterio de asignación de caudal ecológico en muchas masas de agua. Los criterios se especifican con detalle en el Apéndice 2, “Valores de apoyo y criterios”, disponible en:

http://www.chtajo.es/LaCuenca/Planes/PlanHidrologico/Planif_2021-2027/Documents/BorradorPHT_2021-2027/PHT2227_An05_CaudalesEcologicos_Ap02_Apoyo.pdf

El apéndice incluye una relación del criterio aplicado en la asignación a cada masa de agua y las tablas de los resultados del cálculo de percentiles 5%, 10% y 15% con las nuevas series.

En las masas de agua estratégicas se ha cambiado el criterio de identificación de la masa en la que se especifica el caudal ecológico. Estas masas de agua se encuentran situadas aguas abajo de embalses significativos. En los documentos publicados con anterioridad, la masa de agua identificada como estratégica era la que estaba situada inmediatamente aguas abajo del embalse. Sin embargo, en esta edición, se ha considerado que la masa de agua estratégica es la correspondiente al vaso del embalse. Por ejemplo, en el ETI, la masa de agua estratégica correspondiente al embalse de Cazalegas era la ES030MSPF0501021, Río Alberche desde Embalse de Cazalegas hasta Río Tajo. Sin embargo, en el Borrador del Proyecto de Plan Hidrológico, esta masa pasa a ser la ES030MSPF0502020, Embalse de Cazalegas. A pesar del cambio de criterio, los caudales ecológicos asignados tienen valores similares, como puede comprobarse en la Tabla 3.12, que recoge los valores de caudal ecológico asignados a las 16 masas de agua estratégicas, junto con el criterio empleado. Estos valores son idénticos a los contemplados en el ETI para las masas equivalentes, excepto en las masas donde se ha cambiado el criterio, que son las correspondientes a los embalses de Valdeobispo (incremento del 186%), Jerte (incremento del 165%), Manzanares El Real (incremento del 29%) y Rosarito (incremento del 220 %).

Tabla 3.12: Caudales ecológicos mínimos trimestrales propuestos en el Borrador de Proyecto de Plan Hidrológico 2021 para las masas de agua estratégicas de la cuenca del Tajo, en m³/s.

Masa de agua	Criterio	Oct-Dic	Ene-Mar	Abr-Jun	Jul-Sep	Media
0903020. Embalse de Valdeobispo	Percentil 5	3.10	5.90	9.50	2.60	5.28
0502020. Embalse de Cazalegas	Estratégico	1.16	1.77	0.96	0.93	1.21
0803020. Embalse de Borbollón	Estratégico	0.35	0.52	0.27	0.15	0.32
0321020. Embalse de Alcorlo	Estratégico	0.17	0.22	0.27	0.14	0.20
0324020. Embalse de Pálmaces	Estratégico	0.07	0.08	0.11	0.07	0.08
0146020. Embalse de La Tosca	Estratégico	0.36	0.46	0.41	0.28	0.38
0134120. Embalse de Molino de Chíncha	Estratégico	0.79	0.97	0.88	0.62	0.82
0425020. Embalse de El Vado	Estratégico	0.40	0.52	0.57	0.32	0.45
0915020. Embalse de Jerte-Plasencia	Percentil 15	1.36	4.47	3.04	0.27	2.29
0444020. Embalse de El Atazar	Estratégico	0.82	0.90	1.12	0.52	0.84
0431020. Embalse de Manzanares el Real	Interpolación	0.58	0.66	0.69	0.35	0.57
0429020. Embalse de El Pardo	Estratégico	0.82	0.93	0.97	0.49	0.80
0806020. Embalse Rivera de Gata	Estratégico	0.27	0.24	0.12	0.08	0.18
0317020. Embalse de Beleña	Estratégico	0.53	0.68	0.41	0.41	0.51
0203020. Embalse de La Tajera	Estratégico	0.36	0.36	0.36	0.36	0.36
0704020. Embalse de Rosarito	HPU30% con FV2	2.26	4.72	1.36	0.43	2.19

Tabla 3.13: Valores los caudales ecológicos mínimos calculados por métodos hidrológicos en el Borrador de Proyecto de Plan Hidrológico 2021 para las masas de agua estratégicas de la cuenca del Tajo, en m³/s.

Masa de agua	Perc	Oct-Dic	Ene-Mar	Abr-Jun	Jul-Sep
0903020. Embalse de Valdeobispo	5%	3.086	5.907	9.539	2.602
	15%	5.747	10.582	9.644	2.672
0502020. Embalse de Cazalegas	5%	0.87	8.936	7.109	0.982
	15%	1.242	9.937	7.361	1.011
0803020. Embalse de Borbollón	5%	0.089	0.473	0.535	0.124
	15%	0.211	1.056	0.677	0.176
0321020. Embalse de Alcorlo	5%	0.504	0.716	1.265	0.045
	15%	0.519	0.824	1.328	0.058
0324020. Embalse de Pálmaces	5%	0.067	0.19	0.227	0.011
	15%	0.105	0.347	0.326	0.021
0146020. Embalse de La Tosca	5%	0.258	0.829	0.554	0.319
	15%	0.319	0.893	0.664	0.355
0134120. Embalse de Molino de Chíncha	5%	0.724	2.36	1.332	0.724
	15%	0.828	2.435	1.51	0.793
0425020. Embalse de El Vado	5%	0.159	1.357	2.095	-
	15%	0.329	1.884	2.115	0.004
0915020. Embalse de Jerte-Plasencia	5%	0.704	2.82	2.333	0.153
	15%	1.358	4.47	3.035	0.267
0444020. Embalse de El Atazar	5%	0.175	5.249	3.618	-
	15%	0.266	5.724	3.682	0.002
0431020. Embalse de Manzanares el Real / Santillana	5%	0.019	1.231	1.119	-
	15%	0.057	1.461	1.123	0.006
0429020. Embalse de El Pardo	5%	0.077	2.015	1.476	0.041
	15%	0.106	2.418	1.499	0.077
0806020. Embalse Rivera de Gata	5%	0.254	0.355	0.376	0.062
	15%	0.45	0.858	0.46	0.09
0317020. Embalse de Beleña	5%	0.589	1.18	1.918	0.061
	15%	0.668	1.528	1.959	0.135
0203020. Embalse de La Tajera	5%	0.174	0.271	0.186	0.104
	15%	0.384	0.544	0.316	0.21
0704020. Embalse de Rosarito	5%	0.816	3.71	3.388	0.421
	15%	0.963	7.778	3.836	0.694



Los resultados de los cálculos de caudal ecológico por métodos hidrológicos se presentan en el Apéndice 2. Para facilitar la comparación, se incluye la Tabla 3.13, que tiene la misma estructura que la Tabla 3.8, con los valores que resultan al aplicar los percentiles 5% y 15% en las masas de agua estratégicas. Estos nuevos valores de caudal ecológico difieren muy significativamente de los que figuraban en el ETI. Esta diferencia es atribuible a la corrección de las series de SIMPA, que se realizó con posterioridad al ETI. Aparentemente, esta corrección ha distorsionado la distribución de caudales en la mayoría de las masas estratégicas. Los resultados de los cálculos de caudal ecológico por métodos hidrobiológicos que se presentan en el Apéndice 2 del PPHT son idénticos a los presentados en el ETI, puesto que ambos se basan en los cálculos realizados en el ciclo de planificación 2009-2015.

Los valores de caudal ecológico propuestos en el Borrador del Proyecto de Plan Hidrológico 2021 para el eje del río Tajo se presentan en la tabla 3.14. Estos valores son ligeramente superiores a los propuestos en el ETI. La diferencia podría ser atribuible a la modificación del factor de variación con las nuevas series de aportación.

Tabla 3.14: Caudales ecológicos mínimos propuestos en el PPHT para el eje del río Tajo, en m³/s.

Masa de agua	oct-dic	ene-mar	abr-jun	jul-sep
0101021. Río Tajo en Aranjuez	7.90	10.40	9.10	7.20
0105021. Río Tajo desde E. Almoguera hasta E. Estremera	7.80	10.30	9.10	7.20
0607021 Río Tajo en Toledo hasta Río Guadarrama	15.00	23.00	18.00	13.00
0602021 R. Tajo desde R. Alberche hasta la cola del E. Azután	16.00	24.00	19.00	13.00

4. ANÁLISIS DE LOS CÁLCULOS PRESENTADOS PARA EL EJE DEL TAJO

Consideraciones generales

En este capítulo se realiza un análisis crítico de los cálculos presentados en el PPHT como soporte de los caudales ecológicos mínimos propuestos para las masas de agua del eje del Tajo entre Bolarque y Aranjuez.

La primera circunstancia sorprendente es que los estudios que se han tomado como base datan de dos ciclos previos de planificación y tienen más de 10 años de antigüedad. Los trabajos de campo se realizaron entre noviembre de 2008 y junio de 2009, cuando el PPHT se publicó en junio de 2021. En concreto, en el último ciclo de planificación (2015), estos cálculos fueron calificados como “estudios previos”, de donde se deduce la conveniencia de haber acometido estudios más avanzados. Los resultados no son, en modo alguno, concluyentes, ya que hay discrepancias muy fuertes entre los valores obtenidos en Aranjuez y Almoguera y entre Toledo y Talavera. Esta discrepancia se ha resuelto adoptando los valores más altos en cada par de masas de agua, sin tener en cuenta otras consideraciones, como las longitudes de los tramos simulados o el tipo de modelo empleado en su análisis, que son muy importantes para valorar los resultados.

También sorprende que los estudios no se ajustan a las recomendaciones de la Instrucción de Planificación Hidrológica, en los siguientes aspectos:

1. Los valores que se han tomado como base para la definición de los caudales ecológicos mínimos se han obtenido mediante la simulación de hábitat de dos tramos relativamente cortos (177 m y 195 m). La IPH establece que *“la longitud de los tramos seleccionados ha de ser suficiente para que incluya una representación adecuada de la variabilidad física y ecológica del río”*. El tramo desde Bolarque a la cola del embalse de Azután tiene una longitud de más de 300 km. El caudal medio en régimen natural (de 1980-81 a 2017-18) varía de 28 m³/s a 105 m³/s. Es difícil aceptar que 372 m divididos en dos sectores es una longitud representativa de este tramo.
2. Los valores que se han tomado como base para la definición de los caudales ecológicos mínimos se han obtenido empleando un modelo unidimensional. La IPH establece que *“la simulación de la idoneidad del hábitat se realizará, preferentemente, mediante modelos bidimensionales. Si se utilizan modelos unidimensionales deberá justificarse su empleo”*. En este caso, no sólo no se ha justificado la conveniencia de emplear un modelo unidimensional, sino que se ha dado más validez a los resultados obtenidos con este modelo (empleado en Almoguera y Toledo) que a los resultados obtenidos con el modelo bidimensional (empleado en Aranjuez y Talavera).
3. No se ha realizado discriminación entre periodo húmedo y seco, como marca la IPH: *“la curva combinada vendrá referida, al menos, a un periodo húmedo y a otro de estiaje, considerando en cada uno de ellos la predominancia de los estadios de la especie objetivo”*. Los cálculos se han realizado considerando una única distribución de caudales, sin discriminar entre periodo húmedo y seco.

El tramo del río Tajo entre Bolarque y Aranjuez tiene el máximo interés, por múltiples motivos: es el río principal de la cuenca, está vinculado a áreas naturales sujetas a especial protección y da soporte a usos de una gran trascendencia económica. Resulta sorprendente la escasez de medios con la que se ha contado para la definición del caudal ecológico mínimo en este tramo.

En los apartados siguientes se presentan algunas consideraciones que se realizan sobre los datos empleados en los cálculos, la metodología seguida en los análisis, los criterios adoptados y los resultados obtenidos.

Error en la distribución de caudales adoptada para el cálculo del percentil

Los valores de la distribución de caudales que se han tomado como base para el cálculo de los percentiles no son correctos, puesto que corresponden a los resultados proporcionados por una versión antigua del modelo SIMPA que ha quedado obsoleta y abarcan un periodo innecesariamente corto (1980-81 a 2004-05). Los valores adoptados se presentan en la Figura 4.1, que está tomada del Documento Auxiliar 03 del Anejo 5 del PHT 2009.

Percentil	Q m3/s	Percentil	Q m3/s	Percentil	Q m3/s	Percentil	Q m3/s
0%	5,041	50%	22,007	0%	4,830	50%	21,004
5%	10,497	55%	23,788	5%	10,023	55%	22,666
10%	12,111	60%	25,696	10%	11,596	60%	24,561
15%	13,202	65%	27,860	15%	12,627	65%	26,707
20%	14,284	70%	31,335	20%	13,701	70%	29,756
25%	15,349	75%	35,492	25%	14,708	75%	33,931
30%	16,476	80%	41,416	30%	15,734	80%	39,624
35%	17,666	85%	50,190	35%	16,913	85%	47,668
40%	18,706	90%	61,350	40%	17,961	90%	58,282
45%	20,311	95%	88,866	45%	19,317	95%	83,230
50%	22,007	100%	494,626	50%	21,004	100%	441,893

Percentil	Q m3/s	Percentil	Q m3/s	Percentil	Q m3/s	Percentil	Q m3/s
0%	10,547	50%	51,307	0%	12,225	50%	64,155
5%	20,285	55%	56,214	5%	23,310	55%	70,850
10%	24,931	60%	61,911	10%	28,984	60%	80,932
15%	27,895	65%	70,133	15%	32,560	65%	91,740
20%	31,562	70%	79,986	20%	36,960	70%	106,490
25%	34,370	75%	92,845	25%	41,893	75%	126,984
30%	37,272	80%	110,421	30%	46,168	80%	152,813
35%	40,974	85%	133,139	35%	50,763	85%	183,318
40%	43,999	90%	168,578	40%	54,519	90%	244,039
45%	47,602	95%	254,787	45%	59,046	95%	366,722
50%	51,307	100%	1578,376	50%	64,155	100%	2797,122

Figura 4.1. Valores de percentiles de la distribución de caudal correspondientes a las cuatro masas de agua. Arriba: izquierda: 0101021, derecha: 0105021. Abajo: izquierda: 0607021, derecha: 0602021 Tomada del PHT 2009-15.

En su página 252, el EPTI hace referencia a los datos disponibles de la nueva versión del modelo SIMPA: “La caracterización hidrológica de la nueva red de masas de agua se ha realizado teniendo en cuenta las aportaciones mensuales en régimen natural caracterizadas por el modelo de precipitación-esorrentía SIMPA desarrollado por el CEDEX”. En la nota al pie de página 41 se incluye el vínculo a la página de descargas, donde se puede acceder a los resultados de la nueva versión del modelo SIMPA.

En el “Documento complementario: gráficos tablas y mapas por masa de agua de la propuesta inicial de caudales ecológicos para el ciclo de planificación 2021-2027” se incluyen tablas con los valores característicos del régimen hidrológico de cada masa de agua de la cuenca. En las cuatro masas de agua analizadas, estas tablas están

calculadas con las series temporales del modelo SIMPA actualizado, no con las empleadas en el cálculo de percentiles que figura en el PHT 2009.

En el tiempo transcurrido entre la publicación del EPTI y la del PPHT, la Confederación Hidrográfica del Tajo realizó una revisión de las series hidrológicas de la versión actualizada de SIMPA a partir de la restitución a régimen natural realizada en un gran número de estaciones de aforo de la cuenca, entre las que se encuentran estaciones muy próximas a los tramos estudiados. Es decir, además de disponer de las series hidrológicas generadas mediante la aplicación del modelo SIMPA, la Confederación dispone de las series restituidas a régimen natural, que reflejan mejor el caudal realmente circulante que los resultados del modelo SIMPA, hasta el punto de haber planteado la corrección de los resultados obtenidos con el modelo a partir de estas series.

Por tanto, resulta necesario actualizar la distribución de caudales para obtener el valor correcto del percentil 25%, que se utiliza como referencia para la definición del 100% del hábitat potencial útil. Se debería emplear la serie que mejor reproduce la circulación natural de agua en el tramo, que es la restitución a régimen natural realizada a partir de los caudales medidos en la estación de aforo EM-3009 Almoguera.

Se ha realizado el análisis de la distribución de caudales en las dos masas de agua entre Bolarque y Aranjuez, a partir de los valores proporcionados por el nuevo modelo SIMPA, por la restitución a régimen natural y por el ajuste del modelo SIMPA realizada por la CHT. El resultado se ha comparado con la distribución deducida del modelo anterior.

Los resultados se presentan en la Figura 4.2. En ella se muestran, para cada masa de agua, las distribuciones de caudal que se deducen de las dos versiones del modelo SIMPA, la restitución a régimen natural y la serie de SIMPA ajustada por CHT, comparadas con la adoptada en el cálculo del caudal ecológico por métodos hidrobiológicos. En color rojo figura la distribución de caudales proporcionada por la versión inicial del modelo SIMPA (la utilizada en el PHT 2009), que abarca desde 1980-81 a 2004-05. La línea continua representa la distribución directa deducida de los caudales medios mensuales, y los puntos rojos representan la distribución deducida a partir de la reconstrucción a escala diaria realizada en el PHT 2009. Estas dos distribuciones son aproximadamente coincidentes para los caudales bajos. En color verde se muestra la distribución de caudales medios mensuales deducida de la nueva versión del modelo SIMPA. En color azul se muestra la distribución de caudales deducida de la reconstrucción a régimen natural. En color violeta se muestra la distribución de caudales deducida de la serie de SIMPA corregida por CHT para su empleo en el Plan Hidrológico. Estas tres últimas distribuciones se refieren al periodo ahora disponible: 1980-81 a 2017-18. En el caso de Aranjuez, se han representado las restituciones a régimen natural realizadas en las dos estaciones de aforo próximas (EA-3258, Embocador y EA-3259, Villarrubia de Santiago), que no disponen de datos en todo el periodo, más una tercera realizada a partir de la estación de aforo EM-3009, Almoguera, que sí dispone de la serie completa.

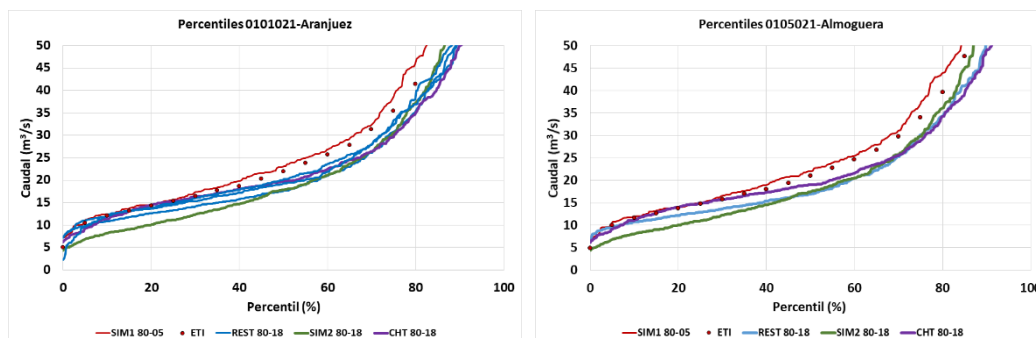


Figura 4.2. Comparación de la distribución de caudal correspondiente a las dos versiones del modelo SIMPA en las dos masas de agua. Izquierda: 0101021, derecha: 0105021.

Como se puede apreciar en la Figura 4.2, las series que se manejan en el presente ciclo de planificación tienen distribuciones distintas de la serie empleada para realizar los cálculos de caudal ecológico por métodos hidrobiológicos. La nueva versión del modelo SIMPA y las restituciones a régimen natural suponen una disminución apreciable de los caudales circulantes y de los percentiles correspondientes. Esta disminución debe ser tomada en cuenta a la hora de estimar el valor del percentil con el que se determina el 100% del hábitat potencial útil, puesto que tiene una repercusión importante en la estimación de los indicadores hidrobiológicos que se toman como base para la determinación de los caudales ecológicos mínimos. Los valores que resultan se muestran en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1: Valores de percentiles característicos en las masas de agua obtenidos con las distintas fuentes de datos.

Lugar	Fuente de datos	Percentil 10%	Percentil 15%	Percentil 20%	Percentil 25%
Masa 0101021 - Aranjuez	Valor propuesto en PPHT	12.11	13.20	14.28	15.35
Masa 0101021 - Aranjuez	SIMPA original 80-05	12.40	13.88	14.70	15.74
Masa 0101021 - Aranjuez	SIMPA actualizado 80-18	8.26	9.09	10.07	11.12
Masa 0101021 - Aranjuez	SIMPA ajustado 80-18	11.34	12.97	14.46	15.30
Masa 0101021 - Aranjuez	Restitución a partir de EM-3009	10.87	11.82	12.66	13.33
Masa 0101021 - Aranjuez	Restitución a partir EA-3258	12.33	13.17	13.67	14.47
Masa 0101021 - Aranjuez	Restitución a partir EA-3259	12.05	13.16	13.85	14.84
Masa 0105021 - Almoguera	Valor propuesto en PPHT	11.60	12.63	13.70	14.71
Masa 0105021 - Almoguera	SIMPA original 80-05	11.88	13.30	14.12	15.10
Masa 0105021 - Almoguera	SIMPA actualizado 80-18	8.13	8.99	10.00	10.91
Masa 0105021 - Almoguera	SIMPA ajustado 80-18	11.01	12.76	13.97	14.81
Masa 0105021 - Almoguera	Restitución a partir de EM-3009	11.36	12.14	12.85	13.64

Análisis de otras cuestiones metodológicas

En el análisis de la documentación revisada se ha encontrado una serie de inconsistencias metodológicas, que se relacionan a continuación.

Criterio empleado para definir el 100% del hábitat potencial útil

En tres de las masas de agua del eje del Tajo se ha adoptado el criterio de considerar que el 100% del hábitat potencial útil corresponde al percentil 25% de la distribución de caudales. En una de las masas, Toledo, el criterio adoptado ha sido

considerar el percentil 15%. También se han realizado cálculos de caudal ecológico mínimo por métodos hidrobiológicos en otras catorce masas de agua estratégicas de la cuenca. En dos de ellas, la curva de hábitat útil-caudal presentaba un máximo. En dos de las otras doce masas, se ha adoptado el criterio del percentil 15% para definir el máximo de hábitat potencial útil. En otras dos masas se ha adoptado el percentil 20% y en el resto, el 25%. No se ha encontrado ninguna justificación para el empleo de este criterio diferencial en las distintas masas de agua.

Elección de la especie más restrictiva

En tres de las masas de agua del eje del Tajo se ha elegido el barbo adulto como especie seleccionada, y en una de ellas (Toledo), la boga adulta. Sin embargo, del análisis de las curvas de disponibilidad de hábitat potencial útil se deduce que en tres ocasiones esta decisión no está justificada. En Aranjuez, el caudal requerido por el cacho adulto para mantener el 50% del Hábitat Potencial útil (2,813 m³/s) es superior al requerido por la especie seleccionada (barbo adulto, 1,478 m³/s). En Toledo, la práctica totalidad de la curva correspondiente al barbo adulto se encuentra a la derecha de la de la especie seleccionada (boga adulta), lo que indica que exige mayores caudales a igualdad de hábitat potencial útil, por lo que la especie seleccionada debería haber sido el barbo adulto. En Talavera, el caudal requerido por el cacho adulto para mantener el 50% del Hábitat Potencial útil (9,464 m³/s) es superior al requerido por la especie seleccionada (barbo adulto, 4,745 m³/s).

Condición de contorno de la simulación hidráulica

La simulación hidráulica de tramos de río en régimen lento de una longitud tan corta como la analizada no es correcta desde el punto de vista metodológico. En un cauce en lámina libre la circulación se realiza habitualmente en régimen lento. El perfil de lámina de agua y el resto de las variables hidráulicas vienen determinados por las condiciones de contorno que se establecen en el extremo de aguas abajo del tramo. La buena práctica aconseja extender el tramo analizado hacia aguas abajo hasta un punto donde se puedan identificar con claridad las condiciones de contorno, bien porque exista un elemento de control (como una compuerta o un azud), porque se produzca régimen crítico o porque se llegue a un tramo donde se establezca régimen uniforme. No se dispone de los modelos de cálculo elaborados, pero presumiblemente las condiciones de contorno se han impuesto directamente sobre el tramo en estudio a partir de una “curva de gasto” (función que relaciona caudales con cotas de lámina de agua). A la vista de la documentación presentada, se deduce que, en los tramos analizados, se ha realizado un número reducido de aforos directos y se ha establecido la condición de contorno estimando la curva de gasto a partir de los valores medidos en campo de cota de agua y caudal. Normalmente se emplea una función del tipo:

$$y = aQ^b$$

Donde y es el calado de agua, Q el caudal y a y b son dos parámetros que se estiman a partir de los datos. Para estimar los dos parámetros se necesitan al menos dos medidas, pero la buena práctica aconseja emplear muchas más, ya que las medidas de caudal por aforo directo pueden tener mucho error. Además, la relación entre caudales y calados en un tramo de río no es única, ya que depende de la variación de caudal que se produzca a través del almacenamiento de agua en el tramo. Es conocido que esta relación presenta histéresis, lo que significa que la relación entre calados y caudales es

diferente en las ramas ascendente y descendente del hidrograma. La buena práctica hidráulica aconseja identificar un punto del cauce situado aguas abajo del tramo en estudio en donde se establezca una condición hidráulica que permita definir la relación entre calados y caudales con poco margen de error. En un río antropizado como es el Tajo, estas condiciones de contorno se establecen en los numerosos azudes que controlan el nivel de lámina de agua. La definición arbitraria de la condición de la condición de contorno a partir de una curva de gasto estimada con pocos datos puede producir errores de consideración en la simulación hidráulica, puesto que debe tenerse en cuenta el condicionante impuesto por el régimen hidráulico del tramo aguas abajo del analizado.

Baja precisión de los aforos realizados en campo

La relación de aforos directos realizados también arroja dudas sobre el rigor metodológico empleado en el trabajo de campo. En Aranjuez se hizo una única campaña de campo el 28/11/2008, en la que se midieron 6,100 m³/s, y se simularon caudales entre 0,5 m³/s y 22 m³/s. En ese mismo día, la estación del SAIH próxima a Aranjuez (AR09 Fuente de la Huelga) registró un caudal medio diario de 7,587 m³/s, mientras que la estación de aforos de la ROEA (EA-3259 Villarrubia de Santiago) registró un caudal de 8,462 m³/s, ambos muy superiores al caudal medido en campo en esa zona. En este caso también resulta llamativo que se haya establecido la condición de contorno a partir de un único punto de medida, lo que supone una clara indeterminación de los parámetros de la expresión adoptada.

En Almoguera se realizaron dos campañas de campo: el 1/12/2008 (caudal medido de 3,077 m³/s) y el 24/06/2009 (caudal medido de 10,380 m³/s), y se simularon caudales entre 0 y 22 m³/s. La estación del SAIH próxima al tramo de estudio (AR08 Almoguera) registró un caudal medio diario de 6,06 m³/s el día 1/12/2008 y de 15,038 m³/s el día 24/06/2009. La estación de aforos de la ROEA (EM-3009 Embalse de Almoguera) registró un caudal de 5,995 m³/s el día 1/12/2008 y de 15,000 m³/s el día 24/06/2009. Los caudales medidos por las redes oficiales son muy próximos entre sí y muestran una discrepancia inadmisibles con los caudales medidos en campo. Esta circunstancia arroja serias dudas sobre los resultados obtenidos en este punto.

En Toledo se hicieron dos campañas de campo: el 1/12/2008 (caudal medido de 11,560 m³/s) y el 24/06/2009 (caudal medido de 24,800 m³/s), y se simularon caudales entre 0 y 51 m³/s. La estación del SAIH próxima al tramo de estudio (AR10 Higuera) registró un caudal de 30,708 m³/s el día 1/12/2008 y de 15,540 m³/s el día 24/06/2009. La estación de aforos de la ROEA (EA-3904 Toledo) registró un caudal de 37,201 m³/s el día 1/12/2008 y de 15,950 m³/s el día 24/06/2009. De nuevo se constatan grandes discrepancias entre los caudales medidos en campo y los registrados en las redes oficiales de hidrometría.

En Talavera se hicieron dos campañas de campo: el 21/04/2009, con un caudal medido de 42,453 m³/s, y el 08/06/2009, con un caudal medido de 23,069 m³/s, y se simularon caudales entre 0 y 65 m³/s. En este caso no había ninguna estación de aforo operativa en esas fechas para poder contrastar las medidas que se tomaron en campo.

El aforo directo en un río es una tarea compleja, que está sujeta a múltiples fuentes de error. Como se ha puesto de manifiesto en las comprobaciones efectuadas, existen grandes discrepancias entre los caudales medidos en campo y los registrados en

las redes oficiales de medida. Esta circunstancia, unida al escaso número de datos con el que se ha estimado la curva de gasto sugiere que el modelo hidráulico empleado para la simulación del hábitat puede tener grandes errores y no resulta fiable sin realizar contrastes adicionales. Además, los caudales simulados se sitúan fuera del rango de caudales medidos en el trabajo de campo, lo que supone una extrapolación de los datos medidos.

Forma de resolver la discrepancia entre los resultados

Los valores de caudal correspondientes a distintos porcentajes del hábitat potencial útil en Aranjuez y Talavera de la Reina han sido sustituidos por los correspondientes a Almoguera y Toledo, respectivamente. La razón aducida es “*la singularidad hidromorfológica del tramo en estudio*” (notas de pie de página 45 y 46 del EPTI), que arroja valores inferiores de caudal a los obtenidos en tramos situados aguas arriba. Esta circunstancia ya indica una debilidad fundamental del método de cálculo elegido para la determinación de los caudales ecológicos, pues demuestra que sus resultados no garantizan la continuidad fluvial. El argumento que se emplea para justificar la decisión indica claramente que los resultados dependen del tramo que se elige para el análisis, lo que, como mínimo, habría exigido analizar varios tramos antes de poder extraer conclusiones. Si los tramos analizados en Aranjuez y Talavera presentan singularidades hidromorfológicas evidentes no deberían haber sido seleccionados para el estudio, sino que se deberían haber seleccionado tramos representativos del conjunto de masas de agua sometidas a caudal ecológico.

La discrepancia entre los resultados obtenidos en el cálculo aconseja haber realizado más análisis para establecer el rango de caudales que permite disponer de una superficie de hábitat útil a lo largo del todo el tramo que resulte suficiente para el desarrollo de la especie objetivo. Si se hiciera la hipótesis simplificadora de que caudal en uno de los dos puntos de análisis comparados es representativo de la mitad de la longitud del tramo, el caudal mínimo fijado a partir de las condiciones en el tramo más exigente proporcionaría el 50% del hábitat potencial útil en la mitad del tramo, pero en la otra mitad se dispondría de un porcentaje muy superior al 50%. Para resolver esta discrepancia había que haber realizado análisis en más puntos a lo largo del tramo, lo que permitiría elegir adecuadamente el caudal mínimo que garantiza disponibilidad suficiente de hábitat a lo largo del tramo.

Se ha decidido prescindir de los análisis adicionales, pero la decisión adoptada para resolver la discrepancia (asignar a Aranjuez y Talavera los valores correspondientes a Almoguera y Toledo, respectivamente) no se ha justificado suficientemente. El criterio empleado para resolver la discrepancia debería haber sido la calidad del análisis realizado. En primer lugar, los tramos seleccionados en Aranjuez y Talavera son más largos que los de Almoguera y Toledo (440 m en Aranjuez por 177 m en Almoguera y 640 m en Talavera por 195 m en Toledo), por lo que son más representativos. En segundo lugar, el análisis realizado es más riguroso en Aranjuez y Talavera, ya que se ha empleado un modelo bidimensional, como especifica la Instrucción de Planificación Hidrológica. En el caso de Almoguera y Toledo el modelo empleado es unidimensional. Este tipo de modelos está desaconsejado por la Instrucción de Planificación Hidrológica, que indica que su uso deberá justificarse adecuadamente. Como mínimo, estas dos circunstancias se deberían haber tenido en cuenta a la hora de resolver la discrepancia.

Valores propuestos de caudal ecológico

A pesar de que los percentiles de caudal se han obtenido sobre la serie anual completa, en el PPHT se ha considerado que los valores de caudal ecológico obtenidos mediante simulación de hábitat son válidos únicamente para el trimestre de verano. Para el resto de los periodos se ha aplicado un coeficiente de mayoración, denominado “factor de variación”. El factor de variación es un coeficiente de reparto de caudales a lo largo del año que puede responder a distintas expresiones matemáticas. El factor de variación elegido en este caso se basa en la siguiente expresión matemática:

$$F_i = \sqrt[3]{\frac{Q_i}{Q_{min}}}$$

Donde F_i es el factor de variación del trimestre i , Q_i el caudal medio del trimestre i y Q_{min} el mínimo caudal medio trimestral.

En la tabla 4.2 se presentan los valores que resultan de aplicar los factores de variación a los caudales ecológicos mínimos obtenidos en el cálculo, tanto en el PPHT como en el EPTI. Se puede apreciar que hay ligeras discrepancias entre los valores que resultan en ambos casos, probablemente atribuibles a la corrección de las series de SIMPA.

Tabla 4.2: Caudales ecológicos trimestrales propuestos en el PPHT y en el ETI a partir de la aplicación del “factor de variación”.

Masa	Oct-Dic		Ene-Mar		Abr-Jun		Jul-Sep	
	Q _{PPHT}	Q _{EPTI}	Q _{PPHT}	Q _{EPTI}	Q _{PPHT}	Q _{EPTI}	Q _{PPHT}	Q _{EPTI}
0101021	7.90	8.37	10.40	9.76	9.10	8.74	7.20	7.20
0105021	7.80	8.30	10.30	9.69	9.10	8.74	7.20	7.20
0607021	15.00	18.10	23.00	20.40	18.00	16.30	13.00	13.00
0602021	16.00	20.00	24.00	22.00	19.00	16.30	13.00	13.00

Los valores que resultan de aplicar el factor de variación a trimestres distintos del trimestre de verano son sustancialmente mayores que los caudales ecológicos mínimos obtenidos en el cálculo. En Aranjuez y Almodovar se obtienen caudales medios anuales superiores en un 20% al caudal ecológico mínimo que resulta del cálculo. En el caso de Toledo y Talavera, el incremento supera el 30%. No existe ninguna justificación metodológica para aplicar este factor de variación. Con su aplicación se pretende modular los caudales ecológicos mínimos a lo largo del año hidrológico, pero la realidad es que el caudal que resulta del método de cálculo aplicado es válido a lo largo de todo el año, ya que proporciona hábitat suficiente a todas las especies analizadas en todos los estadios de desarrollo considerados. Si, a lo largo del año, se produjera una necesidad adicional de caudal para proporcionar el hábitat que se requiere en algún estadio de desarrollo, debería haberse incluido ese estadio de desarrollo en el cálculo, en lugar de aplicar una fórmula matemática que no está prevista en la normativa y no tiene ninguna base científica.

5. ANÁLISIS DE OTROS CÁLCULOS DE CAUDAL ECOLÓGICO

En este capítulo se presentan otros cálculos de caudales ecológicos mínimos por métodos hidrobiológicos realizados en el eje del Tajo por la empresa Ingeniería y Ciencia Ambiental, en los años 2013 y 2019. Los estudios son los siguientes:

“Estudio del régimen de caudales ecológicos en el río Tajo mediante modelación de hábitat físico. Tramo embalse de Bolarque-río Jarama”, finalizado en enero de 2013.

“Estudio de modelación del hábitat físico por métodos hidrobiológicos en el tramo del río Tajo Embalse de Bolarque-Talavera de la Reina”, finalizado en noviembre de 2019.

Resumen de los estudios realizados

Los seis tramos analizados por la empresa ICA en el eje del río Tajo entre Bolarque y Talavera de la Reina se presentan en la Tabla 5.1. En el primero de los estudios, realizado en enero de 2013, se analizaron los tramos comprendidos entre Bolarque y Aranjuez que figuran en la Tabla 5.1 con los indicadores T1-T4. En el segundo estudio, realizado en noviembre de 2019, se volvió a analizar uno de los cuatro tramos anteriores (T4), pero incrementando su longitud. También se analizaron otros dos tramos más (T5 y T6), situados entre el río Jarama y la cola del embalse de Azután.

Las especies analizadas en el estudio de 2013 fueron las consideradas en el Plan Hidrológico 2015: trucha común, barbo común, cacho, boga y bermejuela. Se obtuvo que la especie más restrictiva era el barbo común en tres de los tramos (T1, T3 y T4) y la boga en el otro tramo (T2). En el estudio de 2019 sólo se analizó la trucha y la bermejuela, puesto que se entendió que el resto de las especies no cumplían los criterios de la IPH para la selección de especies objetivo, por no estar incluidas en ninguna de las categorías del Decreto 33/1998. La trucha común resultó la especie más restrictiva en uno de los tramos (T4), la bermejuela en otro (T6) y en un tercero (T5) se obtuvo que la especie más restrictiva dependía del periodo analizado. A pesar de haber descartado el barbo como especie objetivo, en el estudio de 2019 se incluyó también su análisis en un anexo. El modelo hidráulico empleado en el análisis fue el PHABSIM. En los dos estudios se incluyeron los detalles de las curvas de hábitat útil disponible en función del caudal para todas las especies analizadas.

Tabla 5.1: Tramos analizados en los estudios de ICA en 2013 y 2019.

Tramo	Coord X (m)	Coord Y (m)	Dist (km)	Long (m)	Especies objetivo	Especie más restrictiva
T1	502166	4455158	26.4	357	Trucha común, barbo común, cacho, boga, bermejuela	Barbo adulto
T2	489213	4442003	51.7	182	Trucha común, barbo común, cacho, boga, bermejuela	Boga
T3	471399	4433117	77.3	182	Trucha común, barbo común, cacho, boga, bermejuela	Barbo adulto
T4	445485	4431911	111.6	182	Trucha común, barbo común, cacho, boga, bermejuela	Barbo adulto (2013), Trucha común (2019)
T5	429175	4420526	138.6	228	Trucha común, bermejuela	Trucha común (seco) y bermejuela (húmedo)
T6	341420	4421400	280.2	322	Trucha común, bermejuela	Bermejuela

En el estudio de 2013 se realizó una propuesta de caudales ecológicos mínimos basados en métodos hidrobiológicos considerando dos metodologías: análisis único,

que es la opción adoptada en los cálculos del Plan Hidrológico 2015, y análisis discriminando entre un periodo seco y un periodo húmedo, que es lo establecido en la Instrucción de Planificación Hidrológica. En el estudio de 2019 sólo se aplicó el segundo de los métodos. Ambos estudios también difieren en las series hidrológicas adoptadas como referencia para calcular el máximo del Hábitat Potencial Útil (HPU) cuando la curva Hábitat-Caudal no presenta un máximo en el rango analizado. En el estudio de 2013 se utilizaron las series del modelo SIMPA Original en Bolarque (para T1, T2 y T3) y Aranjuez (T4). En el estudio de 2019 se utilizaron las series de SIMPA Actualizado en Aranjuez (T4), Toledo (T5) y Talavera (T6).

Resultados obtenidos considerando un periodo único

En el caso del periodo único, se obtuvieron las curvas Hábitat-Caudal a partir de los datos de campo y la simulación hidráulica realizada. Estas curvas se representan en la Figura 5.1.

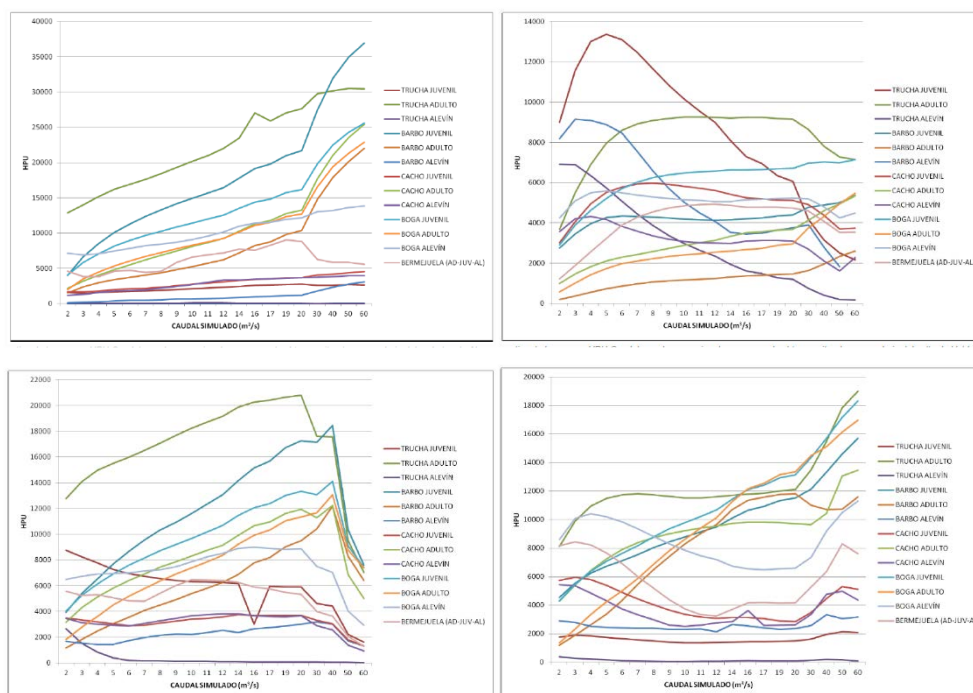


Figura 5.1. Curvas de Hábitat-Caudal para las especies consideradas en los cuatro tramos analizados entre Bolarque y Aranjuez. Arriba: T1 (izquierda) y T2 (derecha). Abajo: T3 (izquierda) y T4 (derecha).

Sobre las curvas presentadas en la Figura 5.1 se determinaron los hábitats máximos. Muchas curvas no presentaban un máximo en el rango analizado. Para esos casos, se aplicó el criterio de la IPH, que establece que podrá adoptarse como valor máximo el hábitat potencial útil correspondiente al caudal definido por el rango de percentiles comprendido entre el 10% y el 25 %. Los percentiles empleados fueron los correspondientes a la serie de SIMPA Original de 1940-41 a 2005-06. En los tramos T1, T2 y T3, que se asimilaron a Bolarque, se consideró un P10% de 13,5 m³/s y un P25% de

18,4 m³/s. En el tramo T4, que se asimiló a Aranjuez, se consideró un P10% de 13,9 m³/s y un P25% de 19,0 m³/s.

A partir de los valores máximos de HPU, se calcularon los caudales necesarios para evitar pérdidas de hábitat superiores al 30%, 50% y 80%. De todas las especies, se eligió la especie más exigente; es decir, la que requería más caudal, que resultó ser el barbo común adulto en tres de los tramos y la boga en el otro tramo. Los caudales que se obtuvieron se presentan en la Tabla 4.17.

Tabla 5.2: Caudales ecológicos mínimos considerando un único periodo anual en los tramos comprendidos entre Bolarque y Aranjuez.

Tramo	Especie	Percentil	Caudal 30% HPU (m ³ /s)	Caudal 50% HPU (m ³ /s)	Caudal 80% HPU (m ³ /s)
T1	Barbo c.	P10	2.73	5.12	10.56
	Barbo c.	P25	3.83	8.89	14.77
T2	Boga	P10	3.25	4.52	8.37
	Boga	P25	3.57	4.97	9.78
T3	Barbo c.	P10	3.34	5.52	10.01
	Barbo c.	P25	4.26	7.8	14.28
T4	Barbo c.	P10	4.73	6.81	10.4
	Barbo c.	P25	5.22	7.26	12.29

Si se aplicara el criterio adoptado en el Plan Hidrológico del Tajo 2015-2021 de considerar que el máximo del HPU corresponde al percentil 25% y que el caudal ecológico mínimo es el que garantiza un 50% del HPU, los valores de caudal ecológico mínimo obtenidos en los tramos serían 8,89 m³/s en el T1, 4,97 m³/s en el T2, 7,8 m³/s en el T3 y 7,26 m³/s en el T4. Sin embargo, estos valores deberían ser revisados, ya que se obtuvieron con el percentil correspondiente a la serie SIMPA Original desde 1940-41 a 2005-06, mientras que en los cálculos del Plan Hidrológico se adoptó la serie desde 1980-81 a 2005-06.

Resultados obtenidos considerando un periodo húmedo y uno seco

Según establece la IPH, a partir de las curvas que relacionan el hábitat potencial útil con el caudal (HPU-Caudal), se puede generar una curva combinada para facilitar la toma de decisiones y la concertación sobre un único elemento, donde se podrá reflejar el régimen propuesto correspondiente al estadio más restrictivo o más sensible. Esta curva estará generada mediante la combinación ponderada y adimensional del hábitat potencial útil determinado para los estadios predominantes en los periodos temporales considerados. La IPH indica que la curva combinada deberá referirse, al menos, a un periodo húmedo y a otro de estiaje, considerando en cada uno de ellos la predominancia de los estadios de la especie objetivo.

Las curvas combinadas se generaron asociando las curvas HPU-Caudal en una sola mediante la combinación de los diferentes estadios considerados y sus diferentes bioperiodos. Siguiendo las indicaciones de la IPH, en la época de estiaje (periodo seco) se consideraron prioritarios los alevines y en época húmeda (periodo húmedo) los juveniles frente al estadio adulto. Las curvas combinadas se determinaron para el periodo húmedo y periodo seco mediante la siguiente ponderación:

$$\text{Periodo húmedo: } 0,6 * \text{juveniles} + 0,4 * \text{adultos}.$$

Periodo seco: $0,6 * \text{alevines} + 0,4 * \text{adultos}$.

Las curvas obtenidas se presentan en la Figura 5.2.

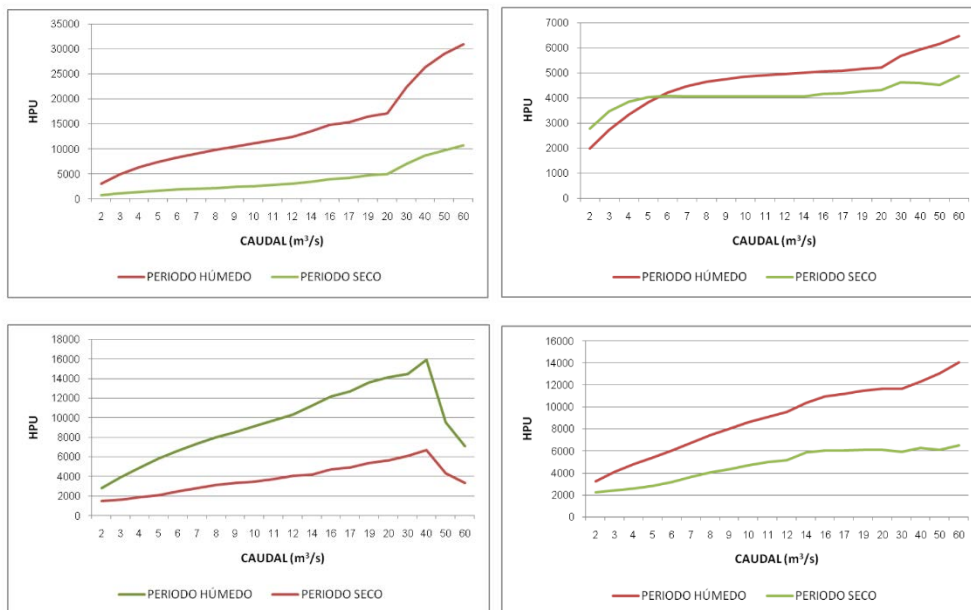


Figura 5.2. Curvas combinadas de Hábitat-Caudal para las especies más restrictivas en los cuatro tramos analizados entre Bolarque y Aranjuez. Arriba: T1-Barbo común (izquierda) y T2-Boga (derecha). Abajo: T3-Barbo común (izquierda) y T4-Barbo común (derecha).

Una vez obtenidas las curvas combinadas HPU-Caudal, se calcularon los hábitats potenciales máximos de cada especie y periodo a partir de los criterios establecidos en la IPH: máximo de la curva o percentiles mensuales. Se aplicaron los mismos percentiles mensuales que en el análisis de un único periodo. Finalmente, se seleccionaron las especies más exigentes en cada tramo y periodo, y se obtuvieron los valores de caudal correspondientes al 30%, 50% y 80% de HPU en cada hipótesis. Los resultados se presentan en la tabla 5.3

Tabla 5.3: Caudales ecológicos mínimos considerando un periodo húmedo y un periodo seco en los tramos comprendidos entre Bolarque y Aranjuez.

Tramo	Especie	Percentil	Húmedo			Seco		
			Caudal 30% HPU (m³/s)	Caudal 50% HPU (m³/s)	Caudal 80% HPU (m³/s)	Caudal 30% HPU (m³/s)	Caudal 50% HPU (m³/s)	Caudal 78% HPU (m³/s)
T1	Barbo c.	P10	2.64	4.47	9.96	2.86	5.20	9.65
	Barbo c.	P25	2.95	5.45	13.35	3.92	8.51	14.59
T2	Boga	P10	1.52	2.75	5.24	0.88	1.46	2.82
	Boga	P25	1.56	2.82	5.87	0.92	1.53	2.95
T3	Barbo c.	P10	2.35	4.73	9.31	1.68	4.47	9.00
	Barbo c.	P25	3.04	6.35	13.29	2.87	6.34	12.42
T4	Barbo c.	P10	1.93	4.78	9.60	1.58	4.56	9.27
	Barbo c.	P25	2.16	5.75	11.14	1.64	5.75	10.71

Si se aplicara el criterio adoptado en el Plan Hidrológico del Tajo 2015-2021 de considerar que el máximo del HPU corresponde al percentil 25% y que el caudal

ecológico mínimo es el que garantiza un 50% del HPU, los valores de caudal ecológico mínimo obtenidos en los tramos serían 5,45-8,51 m³/s en el T1, 2,82-1,53 m³/s en el T2, 6,35-6,34 m³/s en el T3 y 5,75-5,75 m³/s en el T4. Estos valores son significativamente inferiores a los obtenidos considerando un único periodo, puesto que la ponderación de las curvas de hábitat reduce la exigencia de caudal.

Estudio de noviembre de 2019

La empresa ICA actualizó sus estudios en noviembre de 2019, analizando de nuevo el tramo T4 (Aranjuez) y añadiendo dos tramos más, en Toledo (T5) y Talavera de la Reina (T6). Se aplicó la metodología correspondiente al análisis en dos periodos, pero limitando las especies objetivo a la bermejuela y la trucha común. No se consideraron otras especies para las que existen curvas de preferencia de hábitat, como la boga o el cacho, por no estar incluidas en el Catálogo Regional de Especies Amenazadas de Castilla-La Mancha (DOCM 22 de 15-05-1998) o en los anexos II y IV de la Directiva 92/43/CEE, de 21 de mayo de 1992. Sí se analizó el caso del barbo común, puesto que había sido la especie más restrictiva en el estudio anterior de 2013.

En el trabajo se estudiaron las dos especies objetivo, considerando que el 100% del HPU correspondía a los percentiles 10% y 25% de la distribución mensual o al punto de cambio de pendiente de la curva. Para el cálculo de percentiles se utilizó la serie SIMPA Actualizado en el periodo 1980-81 a 2015-16. En el caso de Aranjuez, los percentiles fueron 8,49 m³/s para el 10% y 11,77 m³/s para el 15%. Estos valores son muy inferiores a los adoptados en el estudio anterior. La tabla 5.4 muestra los valores finalmente obtenidos.

Tabla 5.4: Caudales ecológicos mínimos considerando un periodo húmedo y un periodo seco en los tramos del estudio de 2019.

Tramo	Caso	Húmedo			Seco		
		Caudal 30% HPU (m ³ /s)	Caudal 50% HPU (m ³ /s)	Caudal 80% HPU (m ³ /s)	Caudal 30% HPU (m ³ /s)	Caudal 50% HPU (m ³ /s)	Caudal 78% HPU (m ³ /s)
T4	Trucha, P25	0.88	1.46	1.85	0.79	1.32	2.6
T5	Trucha, Max	0.7	1.17	2.28	0.63	1.23	2.3
T6	Bermejuela, Max	3.55	5.44	8.67	3.55	5.44	7.3

En la Tabla 5.5 se presentan los resultados obtenidos en el tramo T4 (Aranjuez) considerando el barbo común como especie objetivo. En este caso, se volvieron a calcular las curvas HPU-Caudal del tramo, que coinciden aproximadamente con las calculadas en 2013 hasta un caudal de unos 20 m³/s. Considerando que el caudal que produce el 100% del HPU es el correspondiente al cambio de pendiente, se obtienen unos valores de caudal ecológico mínimo para el 50% del HPU iguales a 4,95-5,62 m³/s.



Caudales ecológicos mínimos PPHT Tajo

Tabla 5.5: Caudales ecológicos mínimos considerando un periodo húmedo y un periodo seco considerando el barbo común como especie objetivo en el tramo T4 (Aranjuez).

Tramo	Caso	Húmedo			Seco		
		Caudal 30% HPU (m ³ /s)	Caudal 50% HPU (m ³ /s)	Caudal 80% HPU (m ³ /s)	Caudal 30% HPU (m ³ /s)	Caudal 50% HPU (m ³ /s)	Caudal 78% HPU (m ³ /s)
T4	P10	1.73	2.89	5.52	1.68	3.03	6.00
	P25	2.08	3.47	6.64	2.17	3.91	8.67
	Cambio pendiente	2.48	4.95	11.16	2.51	5.62	10.17

6. PROPUESTA ALTERNATIVA DE CÁLCULO DE CAUDALES ECOLÓGICOS

En este capítulo se presenta una propuesta alternativa de cálculo de caudales ecológicos mínimos por métodos hidrobiológicos para el tramo del eje del Tajo entre Bolarque y Aranjuez. El estudio se circunscribe a este tramo porque no se ha dispuesto de las series restituídas a régimen natural en las proximidades de Toledo o Talavera de la Reina. En estos dos casos, pueden adoptarse los resultados obtenidos por ICA en el estudio de 2019. En Toledo se obtuvo que la especie más exigente era la trucha. El caudal que corresponde al 50% del hábitat potencial útil para esta especie es 1,46 m³/s en periodo húmedo y 1,32 m³/s en periodo seco. En Talavera de la Reina se obtuvo que la especie más exigente era la bermejuela. El caudal que corresponde al 50% del hábitat potencial útil para esta especie es 5,44 m³/s, tanto en periodo húmedo como en periodo seco.

El objetivo perseguido es actualizar los distintos cálculos que se han realizado en el tramo Bolarque-Aranjuez para poder realizar una propuesta de caudal ecológico mínimo que recoja todos los resultados y sea compatible con la caracterización hidrológica actual del tramo. El análisis se divide en tres partes. En una primera parte, se actualizan los cálculos realizados por la Confederación Hidrográfica del Tajo para tener en cuenta la distribución de caudales que se deduce de los estudios realizados en el presente ciclo de planificación. En esta parte se han respetado todos los criterios empleados por la CHT en el análisis del caudal ecológico mínimo. En la segunda parte, se hace la revisión de los cálculos de caudal ecológico mínimo, incluyendo tanto los trabajos realizados por la CHT como los estudios que ha realizado la empresa ICA. En la tercera parte, se analizan los resultados obtenidos en los distintos puntos del tramo, valorando la metodología empleada y realizando una propuesta de caudal ecológico mínimo en el tramo.

Actualización de los estudios de CHT

Los percentiles de la distribución de caudales que han servido de base para la determinación del 100% del hábitat potencial útil en los tramos analizados por CHT deben ser actualizados para tener en cuenta la caracterización hidrológica actual del tramo. A continuación, se presenta el análisis de las curvas de hábitat potencial útil realizado a partir de la distribución de caudales que se deduce de las nuevas series hidrológicas disponibles en cada tramo.

Curva de hábitat potencial útil en la masa 0101021 Aranjuez

En el actual ciclo de planificación se dispone de cinco series hidrológicas de caudales medios mensuales en la masa 0101021 Aranjuez. Estas series son las siguientes:

- La serie obtenida por aplicación de la versión actualizada del modelo SIMPA
- La serie obtenida por restitución a régimen natural de los caudales medidos en la estación de aforo EM-3009, Almoguera. Esta serie se ha ajustado para adaptarla al emplazamiento de la masa 0101021, sumando la aportación diferencial entre las masas 0105021 y 0101021.

- La serie obtenida por restitución a régimen natural de los caudales medidos en la estación de aforo EA-3258, Embocador. Esta serie no está completa, ya que faltan 93 valores mensuales.
- La serie obtenida por restitución a régimen natural de los caudales medidos en la estación de aforo EA-3259, Villarrubia de Santiago. Esta serie no está completa, ya que faltan 12 valores mensuales.
- La serie calculada por CHT corrigiendo los valores de la serie SIMPA a partir de las observaciones realizadas en las estaciones de aforo de la cuenca.

Las cinco series están disponibles en el periodo 1980-81 a 2017-18, aunque dos de ellas presentan huecos en ese periodo. La tabla 6.1 muestra los valores de los estadísticos representativos de las cinco series. Las distribuciones de percentiles se presentan en la figura 6.1.

Tabla 6.1: Estadísticos representativos de las cinco series disponibles en Aranjuez.

Estadístico	SIMPA	Restitución EM3009	Restitución EA 3258	Restitución EA3259	CHT
Media (m ³ /s)	28.23	25.76	27.69	27.27	26.38
Mediana (m ³ /s)	17.86	17.58	19.21	20.11	19.76
Máximo (m ³ /s)	202.74	186.31	183.07	184.26	155.59
Mínimo (m ³ /s)	4.33	7.24	7.44	2.27	6.20
Desviación Estándar (m ³ /s)	30.59	20.91	22.09	20.84	19.90
Coefficiente de Variación	1.08	0.81	0.80	0.76	0.75
Percentil 5% (m ³ /s)	6.87	9.88	11.07	9.73	9.24
Percentil 10% (m ³ /s)	8.27	10.87	12.33	12.05	11.36
Percentil 15% (m ³ /s)	9.09	11.82	13.17	13.16	13.11
Percentil 20% (m ³ /s)	10.07	12.66	13.67	13.85	14.48
Percentil 25% (m ³ /s)	11.15	13.33	14.47	14.84	15.34
Percentil 75% (m ³ /s)	30.73	30.84	32.53	33.35	29.59

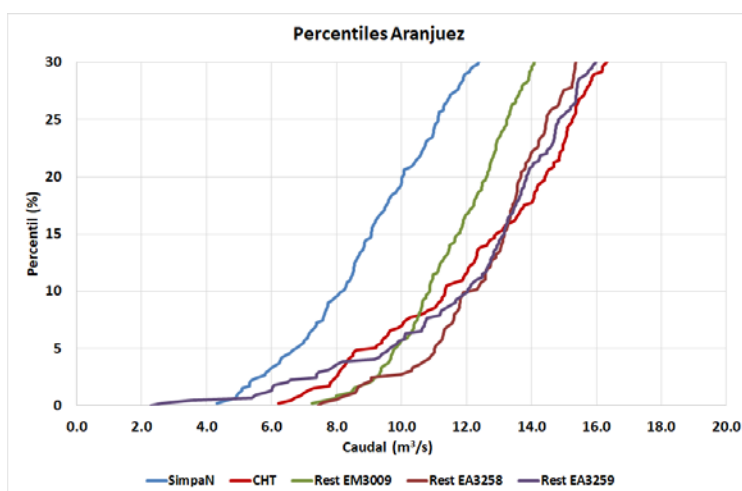


Figura 6.1. Curvas de percentiles de las cinco series disponibles en Aranjuez.

La finalidad de la corrección realizada en las series de SIMPA era conseguir un mejor ajuste a las restituciones a régimen natural. Para ello se aplicó un procedimiento complejo basado en un modelo de regresión construido sobre los valores mensuales de

la serie simulada por SIMPA y la serie restituída. En la figura 6.1 se puede apreciar que el procedimiento no ha producido el resultado deseado en el rango de percentiles que se emplea para fijar el caudal ecológico. La curva de la serie corregida (línea roja) se encuentra fuera de la horquilla determinada por las distribuciones de las restituciones a régimen natural para percentiles superiores al 15%. En el caso de la restitución el Almoguera (línea verde), la serie corregida está igual de alejada de la restituída como la serie de SIMPA de la que se partió.

En la figura 6.2, se muestran las curvas de hábitat potencial útil en función del caudal para las especies más determinantes del tramo (barbo adulto, cacho adulto, boga adulta y bermejuela). Esta curva se ha estimado a partir de la gráfica de la figura 3.3. Se observa que únicamente la curva correspondiente a la bermejuela presenta un máximo. En el resto de las especies el 100% del hábitat potencial útil se determina a partir del percentil 25% de la distribución de caudales.

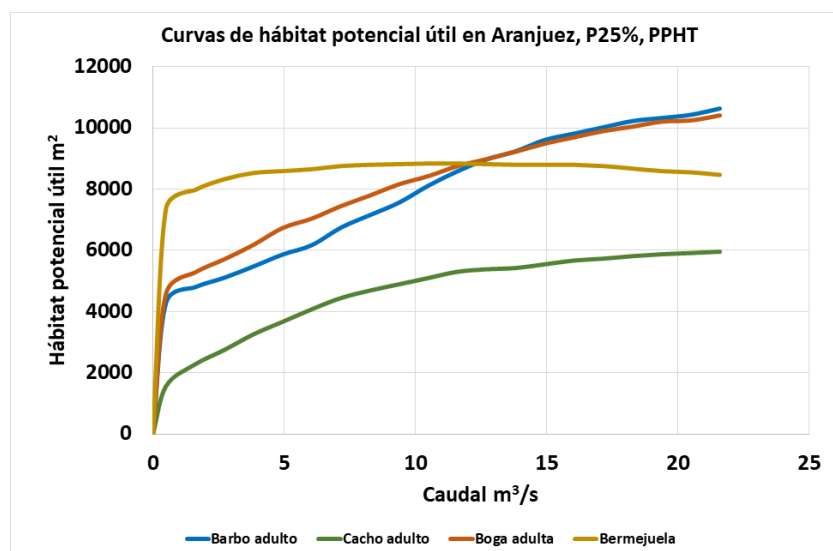


Figura 6.2. Curvas de disponibilidad de hábitat en la masa 0101021 Aranjuez para las especies más determinantes del tramo, según modelación de hábitat realizada en el PHT 2009.

A partir de las curvas de hábitat se han calculado las curvas de porcentaje de hábitat potencial útil que se obtienen al estimar que el 100% de hábitat potencial útil corresponde al percentil 25% de las distintas series de caudales consideradas. Estas curvas se presentan en la figura 6.3. Excepto en el caso de la bermejuela, el 100% del hábitat potencial útil se ha determinado como el correspondiente al percentil 25% de la distribución de caudales. En la figura se muestran las curvas que corresponden al 100% de hábitat potencial útil determinado por el percentil 25% de la distribución de caudales adoptada en el PHT 2009 (arriba a la izquierda), la del nuevo modelo SIMPA (arriba a la derecha), la restitución de la serie de la estación de aforo EM-3009 (centro a la izquierda), la restitución de la serie de la estación de aforo EA-3258 (centro a la derecha), la restitución de la serie de la estación de aforo EA-3259 (abajo a la izquierda), y al percentil 25% de la serie ajustada de SIMPA (abajo a la derecha). Sobre las curvas se han marcado los valores de caudal que corresponden al 100%, 80%, 50% y 30% del hábitat

potencial útil en la curva de la especie más determinante, que resulta ser el barbo adulto para el 100% y 80% del HPU y la boga adulta para el 50% y 30% del HPU.

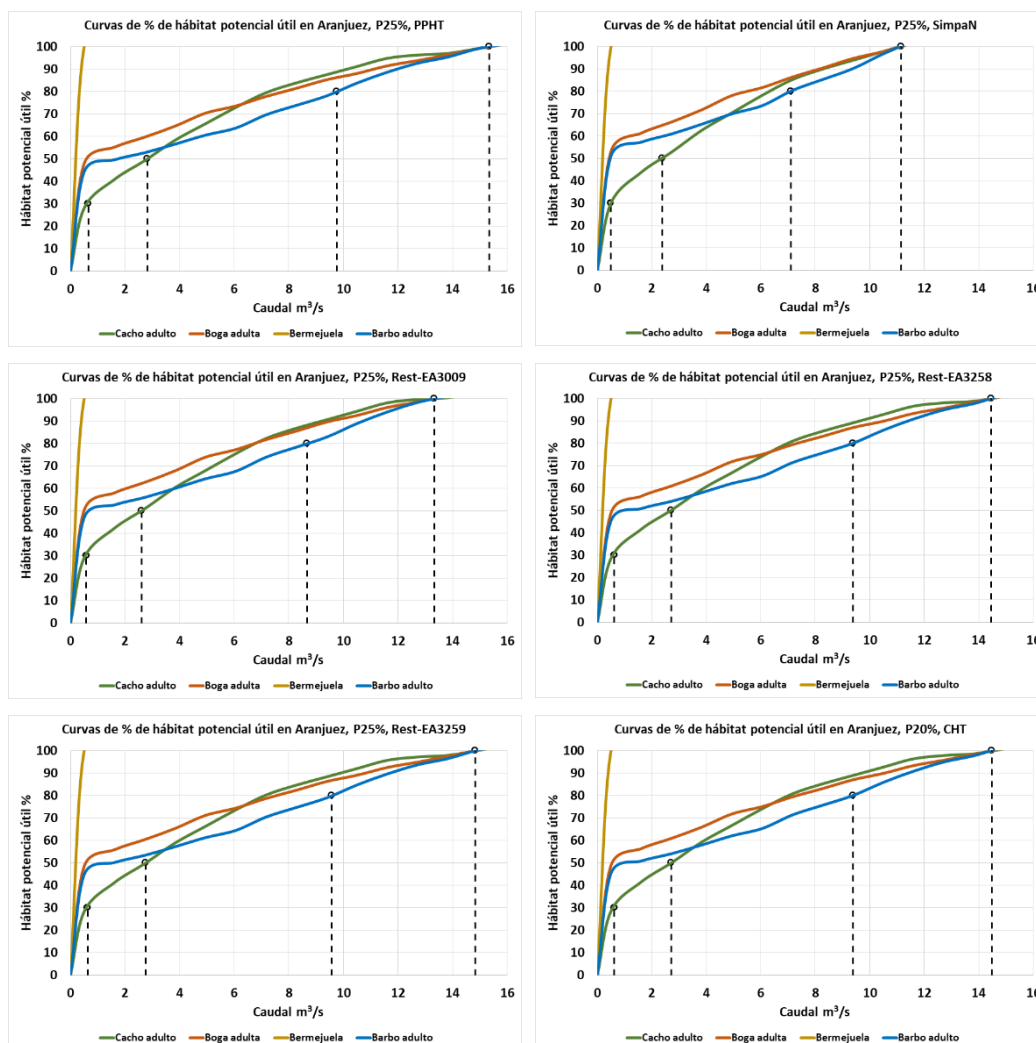


Figura 6.3. Curvas de % de hábitat potencial útil en la masa 0101021 deducidas del percentil 25% de distintas series. Arriba: valor considerado en el PPHT (izquierda) y SIMPA actualizado (derecha). Centro: restitución EM-3009 (izquierda) y restitución EA-3258. Abajo: restitución EA-3259 y SIMPA modificado (derecha).

Los valores que resultan del cálculo en los seis casos se presentan en la tabla 6.1. En ella se puede ver que, partiendo de las distribuciones de las series disponibles y adoptando el criterio del 50% del hábitat potencial útil, el caudal ecológico mínimo correspondiente a la masa 0101021 Aranjuez estaría comprendido entre 2,38 m³/s, que resulta para la serie SIMPA actualizada y 2,81 m³/s, que resulta para la serie SIMPA ajustada por CHT. Estos valores son muy inferiores al caudal ecológico mínimo propuesto en el PPHT en este tramo. Este análisis se ha realizado respetando todos los criterios adoptados en el cálculo original del PHT 2009, modificando únicamente la distribución de caudales circulantes por el tramo en régimen natural.

Tabla 6.2: Caudales correspondientes a los porcentajes de HPU en la masa de agua 0101021 Aranjuez estimados según la distribución adoptada en el PPHT y la correspondiente a las cinco series disponibles.

Hipótesis de cálculo	30 % HPU	50 % HPU	80 % HPU	100 % HPU
	Caudal (m ³ /s)	Caudal (m ³ /s)	Caudal (m ³ /s)	Caudal (m ³ /s)
Valor adoptado en PPHT	0.67	2.82	9.76	15.35
SIMPA actualizado	0.50	2.38	7.10	11.15
Restitución EM-3009	0.58	2.60	8.66	13.33
Restitución EA-3258	0.62	2.71	9.38	14.47
Restitución EA-3259	0.64	2.75	9.58	14.84
SIMPA ajustado	0.67	2.81	9.75	15.34

Curva de hábitat potencial útil en la masa 0105021 Almoguera

En el caso de la masa 0105021 Almoguera, en el actual ciclo de planificación se dispone de tres series hidrológicas de caudales medios mensuales que se deben tomar en consideración:

- La serie obtenida por aplicación de la versión actualizada del modelo SIMPA
- La serie obtenida por restitución a régimen natural de los caudales medidos en la estación de aforo EM-3009, Almoguera
- La serie calculada por CHT corrigiendo los valores de la serie SIMPA a partir de las observaciones realizadas en las estaciones de aforo de la cuenca.

Las tres series están disponibles en el periodo 1980-81 a 2017-18. La tabla 6.3 muestra los valores de los estadísticos representativos de las tres series.

Tabla 6.3: Estadísticos representativos de las tres series disponibles en Almoguera.

Estadístico	SIMPA	Restitución EM-3009	CHT
Media (m ³ /s)	27.28	25.58	24.97
Mediana (m ³ /s)	17.43	18.92	16.87
Máximo (m ³ /s)	186.72	148.72	179.44
Mínimo (m ³ /s)	4.30	6.13	6.83
Desviación Estándar (m ³ /s)	28.93	19.36	20.41
Coefficiente de Variación	1.06	0.76	0.82
Percentil 5% (m ³ /s)	6.81	9.15	9.44
Percentil 10% (m ³ /s)	8.12	11.20	10.69
Percentil 15% (m ³ /s)	8.99	12.83	11.36
Percentil 20% (m ³ /s)	9.97	13.97	12.14
Percentil 25% (m ³ /s)	10.95	14.84	12.85
Percentil 75% (m ³ /s)	29.81	28.84	30.06

Las distribuciones de percentiles se presentan en la figura 6.4. En la figura se puede apreciar que el procedimiento de corrección de las series de SIMPA en Almoguera no ha producido el resultado deseado en el rango de percentiles que se emplea para fijar el caudal ecológico. Para el percentil 25%, la curva del modelo SIMPA (línea azul) se encuentra más próxima a la restitución en Almoguera (línea verde) que la serie corregida (línea roja), que supuestamente se debería aproximar a la restituida. Los valores de la



serie corregida se encuentran a la derecha de la serie restituida para percentiles superiores al 7%.

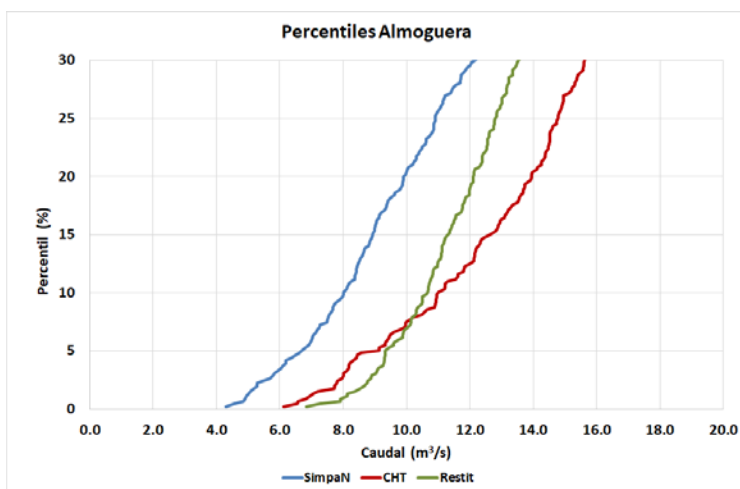


Figura 6.4. Curvas de percentiles de las tres series disponibles en Almoguera.

En la figura 6.5, se muestran las curvas de hábitat potencial útil en función del caudal para las especies más determinantes del tramo (barbo adulto, cacho adulto, boga adulta y bermejuela). Esta curva se ha estimado a partir de la gráfica de la figura 3.5. Se observa que únicamente la curva correspondiente a la bermejuela presenta un máximo. En el resto de las especies el 100% del hábitat potencial útil se determina a partir del percentil 25% de la distribución de caudales.

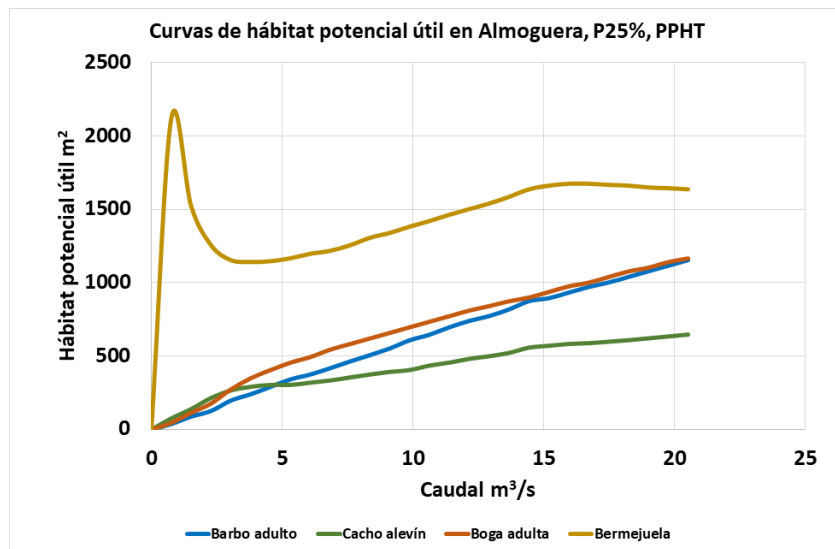


Figura 6.5. Curvas de disponibilidad de hábitat en la masa 0105021 Almoguera para las especies más determinantes del tramo, según modelación de hábitat realizada en el PHT 2009.

A partir de las curvas de hábitat se han determinado las curvas de porcentaje de hábitat potencial útil que se obtienen al estimar que el 100% de hábitat potencial útil

corresponde al percentil 25% de las distintas series de caudales consideradas. Estas curvas se presentan en la figura 6.6. Excepto en el caso de la bermejuela, el 100% del hábitat potencial útil se ha determinado como el correspondiente al percentil 25% de la distribución de caudales. En la figura se muestran las curvas que corresponden al 100% de hábitat potencial útil determinado por el percentil 25% de la distribución de caudales adoptada en el PHT 2009 (arriba a la izquierda) y las que corresponden al 100% de hábitat potencial útil determinado por el percentil 25% de la distribución de caudales del nuevo modelo SIMPA en el periodo 1980-2018 (abajo a la derecha), la restitución de la serie de la estación de aforo EM-3009 (abajo a la izquierda) y al percentil 25% de la serie ajustada de SIMPA (abajo a la derecha). Sobre las curvas se han marcado los valores de caudal que corresponden al 100%, 80%, 50% y 30% del hábitat potencial útil en la curva de la especie más determinante, que es el barbo adulto.

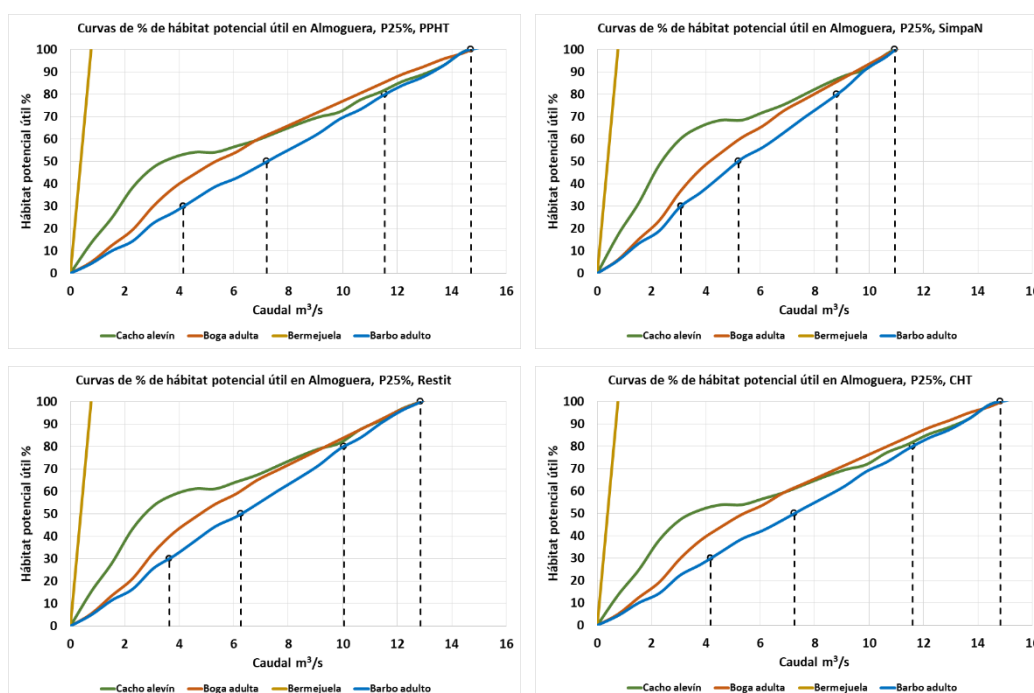


Figura 6.6. Curvas de % de hábitat potencial útil en la masa 0105021 deducidas del percentil 25% de distintas series. Arriba: valor considerado en el PPHT (izquierda) y SIMPA actualizado (derecha). Abajo: restitución EM-3009 y SIMPA modificado (derecha).

Los valores que resultan del cálculo en los cuatro casos se presentan en la Tabla 6.4. En ella se puede ver que, partiendo de las distribuciones de las series disponibles y adoptando el criterio del 50% del hábitat potencial útil, el caudal ecológico mínimo correspondiente a la masa 0105021 Almoguera estaría comprendido entre 5,17 m³/s, que resulta para la serie SIMPA actualizada y 7,24 m³/s, que resulta para la serie SIMPA ajustada por CHT. El valor correspondiente a la serie directamente deducida de los caudales medidos mediante restitución a régimen natural es 6,25 m³/s. Este análisis se ha realizado respetando todos los criterios adoptados en el cálculo original del PHT 2009, modificando únicamente la distribución de caudales circulantes por el tramo en régimen natural.

Tabla 6.4: Caudales correspondientes a los porcentajes de HPU en la masa de agua 0105021 Almoquera estimados según la distribución adoptada en el PPHT y la correspondiente a las tres series disponibles.

Hipótesis de cálculo	30 % HPU	50 % HPU	80 % HPU	100 % HPU
	Caudal (m³/s)	Caudal (m³/s)	Caudal (m³/s)	Caudal (m³/s)
Valor adoptado en PPHT	4.16	7.22	11.55	14.71
SIMPA actualizado	3.08	5.19	8.81	10.95
Restitución EM-3009	3.63	6.26	10.04	12.85
SIMPA ajustado	4.17	7.25	11.60	14.84

Revisión de los cálculos de caudal ecológico mínimo

En esta parte se hace una revisión de los cálculos de caudal ecológico mínimo. Se toman como base los estudios realizados por la empresa ICA, partiendo de las series de hábitat-caudal obtenidas en su día y aplicando la metodología que se aplicó en los estudios originales a las nuevas series hidrológicas que están disponibles en la actualidad. Como esta metodología difiere de la empleada en los estudios de CHT, el análisis se ha extendido también a los dos tramos analizados por CHT. De esta forma se pudo disponer de un juego completo de resultados a lo largo del tramo Bolarque-Aranjuez.

Tramos analizados y metodología empleada

Los tramos analizados se presentan esquemáticamente en la figura 6.7 y en la tabla 6.5. La empresa ICA analizó dos veces el tramo ICA-1, una de ellas en su estudio de 2013 y otra en su estudio de 2019. En el segundo estudio se volvieron a calcular las curvas Hábitat-Caudal, por lo que esta nueva versión del análisis se denomina ICA-1b.

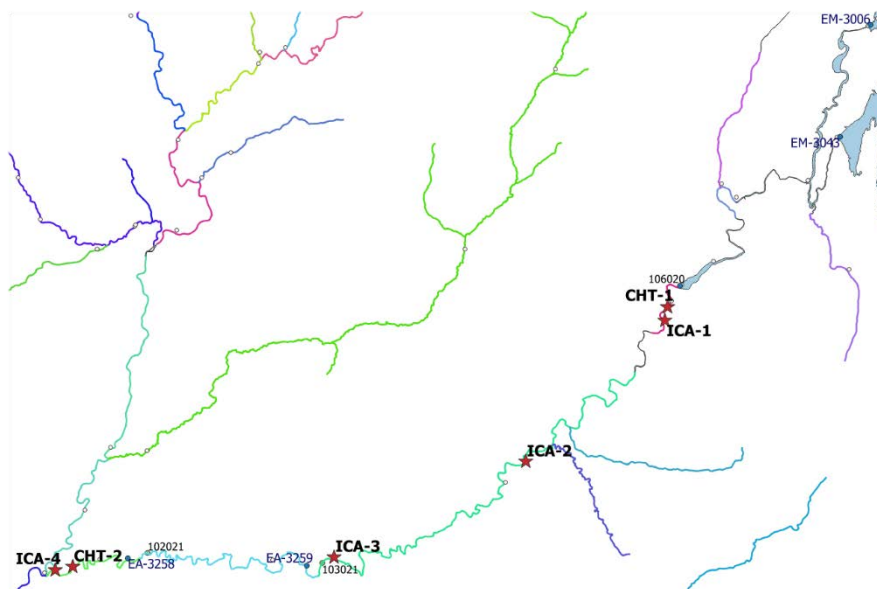


Figura 6.7. Emplazamiento de los tramos analizados en este trabajo.

Dos de los tramos analizados por ICA (ICA-1 e ICA-4) están muy próximos a los dos tramos analizados por CHT (CHT-1 y CHT-2, respectivamente). Para ellos se ha tomado como referencia las distribuciones de caudales adoptadas en los tramos analizados por CHT (Masas F0105021 y F0101021). El tramo ICA-3 se encuentra muy próximo al final de la masa F0103021, por lo que se han adoptado las series correspondientes a dicha masa. Para el tramo ICA-2 se ha obtenido la serie de SIMPA correspondiente a este punto. La serie de aportaciones de SIMPA ajustado por CHT se ha obtenido a partir de las series correspondientes a las masas F0104020 y F0103021 ponderándolas a partir de la relación de caudales medios obtenida en SIMPA. Para las series restituídas, se ha tomado como referencia la serie de datos restituída en la estación de aforo AM-3009, puesto que es la única que no presenta huecos. Los valores se han trasladado a los otros puntos situados aguas abajo añadiendo la aportación diferencial correspondiente a SIMPA ajustado por CHT.

Tabla 6.5: Tramos analizados en este trabajo.

Tramo	Coord X (m)	Coord Y (m)	Dist (km)	Long (m)	Año	Especie	Referencia de caudal
CHT-1	502454	4456424	6.13	177	2009	Barbo común (<i>barbus bocagei</i>)	Masa F0105021
ICA-1	502166	4455158	26.4	357	2013	Barbo común (<i>barbus bocagei</i>)	Masa F0105021
ICA-1b	502166	4455158	26.4	357	2019	Barbo común (<i>barbus bocagei</i>)	Masa F0105021
ICA-2	489213	4442003	51.7	182	2013	Boga (<i>chondostoma polylepis</i>)	Masas F0105020 y F0103021
ICA-3	471399	4433117	77.3	182	2013	Barbo común (<i>barbus bocagei</i>)	Masa F0103021
CHT-2	447081	4432227	109.4	440	2009	Barbo común (<i>barbus bocagei</i>)	Masa F0101021
ICA-4	445485	4431911	111.6	182	2013	Barbo común (<i>barbus bocagei</i>)	Masa F0101021

La metodología aplicada es la empleada por la empresa ICA en los estudios realizados en los tramos del eje del río Tajo. Se ha partido de las curvas caudal-hábitat disponible que en su día se obtuvieron en cada tramo para cada una de las especies y estadios analizados. El 100 % del hábitat potencial útil (HPU) corresponde al máximo de dichas curvas. Cuando estas curvas no presentan un máximo aparente o el máximo se produce para un caudal poco habitual en el régimen natural del río, se ha supuesto que el 100% del HPU corresponde al percentil 25% de la serie hidrológica de referencia, que es el criterio adoptado por CHT en los cálculos realizados en Aranjuez y Almodguera, aunque en otros emplazamientos se han seleccionado percentiles inferiores.

Se han realizado dos tipos de cálculo: análisis único, que es la opción adoptada en los cálculos del Plan Hidrológico 2009, y análisis discriminando entre un periodo húmedo y un periodo de estiaje, que es lo establecido en la Instrucción de Planificación Hidrológica. Para simplificar, esta parte del estudio se ha centrado únicamente en la especie más restrictiva de cada uno de los tramos, que ha resultado ser el barbo común en cinco de los tramos y la boga en uno de ellos.

En el caso del análisis único se han considerado las curvas de los tres estadios de la especie más restrictiva (barbo o boga). Para determinar el 100% del HPU se ha tomado el percentil 25% de la serie mensual de referencia.

El caso de los periodos húmedo y seco se emplearon curvas combinadas. Las curvas combinadas se generaron asociando las curvas Caudal-HPU en una sola mediante la combinación de los diferentes estadios considerados. Siguiendo las indicaciones de la



IPH, en la época de estiaje (periodo seco) se consideraron prioritarios los alevines y en época húmeda (periodo húmedo) los juveniles frente al estadio adulto. Las curvas combinadas se determinaron para el periodo húmedo y periodo seco mediante la siguiente ponderación:

Periodo seco: $0,6 * alevines + 0,4 * adultos$.

Periodo húmedo: $0,6 * juveniles + 0,4 * adultos$.

Se adoptó como periodo seco el correspondiente a las estaciones de verano y otoño, y como periodo húmedo el correspondiente a las estaciones de invierno y primavera. Para garantizar la disponibilidad de hábitat, en cada periodo se consideraron también las curvas de los estadios de desarrollo que indica la IPH. Por tanto, en periodo seco se consideró la curva ponderada junto con las curvas de alevín y adulto, y en periodo húmedo se consideró la curva ponderada junto con las de juvenil y adulto.

A partir de las curvas referidas a los valores máximos de HPU, se calcularon los caudales necesarios para obtener un hábitat disponible igual al 30%, 50% y 80% del máximo hábitat potencial en el caso más restrictivo.

Análisis del tramo CHT-1

Este tramo es el analizado por CHT para Almoguera. Las series hidrológicas disponibles son las correspondientes a la masa 0105021, cuyos estadísticos representativos se presentan en la tabla 6.6.

Tabla 6.6: Estadísticos representativos de las series disponibles en los tramos CHT-1, ICA-1 e ICA-1b, calculados sobre el periodo 1980-81 a 2017-18.

Estadístico	SIMPA actualizado			Restitución EM3009			SIMPA ajustado por CHT		
	Anual	Seco	Húm.	Anual	Seco	Húm.	Anual	Seco	Húm.
Media (m ³ /s)	27.28	20.41	34.14	24.97	16.64	33.29	25.58	17.26	33.90
Mediana (m ³ /s)	17.43	15.08	22.83	16.87	14.08	25.71	18.92	15.44	25.84
Máximo (m ³ /s)	186.72	186.72	185.80	179.44	93.44	179.44	148.72	89.77	148.72
Mínimo (m ³ /s)	4.30	4.30	6.11	6.83	6.83	8.75	6.13	6.13	10.98
Desviación Estándar (m ³ /s)	28.93	21.98	33.20	20.41	10.59	24.14	19.36	19.36	19.39
Coefficiente de Variación	1.06	1.08	0.97	0.82	0.64	0.73	0.76	1.12	0.57
Percentil 5% (m ³ /s)	6.81	21.98	8.37	9.44	10.59	12.40	9.15	19.36	15.15
Percentil 10% (m ³ /s)	8.12	7.04	9.05	10.69	9.58	13.09	11.20	9.15	16.26
Percentil 15% (m ³ /s)	8.99	7.98	10.07	11.36	10.31	14.11	12.83	10.24	17.40
Percentil 20% (m ³ /s)	9.97	8.91	10.91	12.14	10.72	15.30	13.97	11.22	18.66
Percentil 25% (m ³ /s)	10.95	9.97	12.79	12.85	11.13	16.25	14.84	12.16	18.99
Percentil 75% (m ³ /s)	29.81	21.04	44.53	30.06	17.97	42.80	28.84	18.93	41.20

Las curvas de disponibilidad de hábitat en función del caudal se han tomado del Documento Auxiliar 03, "Fichas por masas de agua de la distribución temporal de caudales mínimos mediante la modelización de la idoneidad del hábitat con métodos hidrobiológicos" del Plan Hidrológico del Tajo 2015. En la figura 6.8, tomada de dicho documento, se muestran las curvas calculadas en su momento para el barbo común.

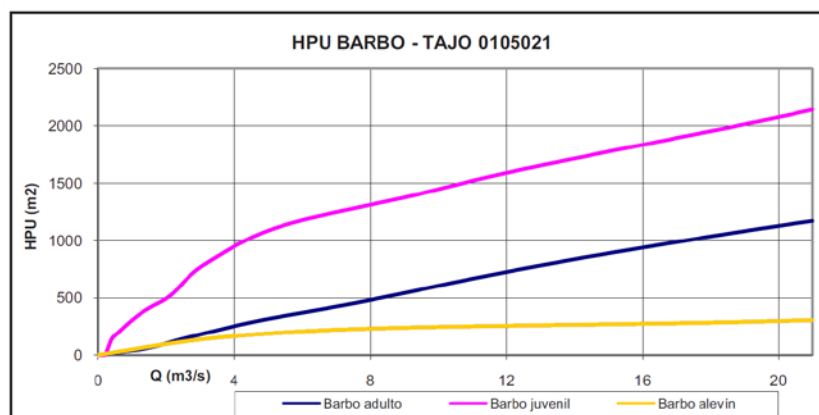


Figura 6.8. Curvas de disponibilidad de hábitat en la masa 0105021 Almoguera para el barbo común, según modelación de hábitat realizada en el PHT 2009.

A partir de los gráficos publicados por CHT se han estimado las tablas de los valores de caudal y superficie de hábitat de las tres curvas y se ha procedido a calcular las curvas ponderadas. Los resultados se presentan en la figura 6.9, que muestra las curvas de hábitat potencial útil en función del caudal para barbo adulto, barbo juvenil y barbo alevín, junto con las curvas ponderadas correspondientes a periodo húmedo y seco. Ninguna de estas curvas presenta un máximo aparente en el rango de caudales analizado, que supera ligeramente los 20 m³/s.

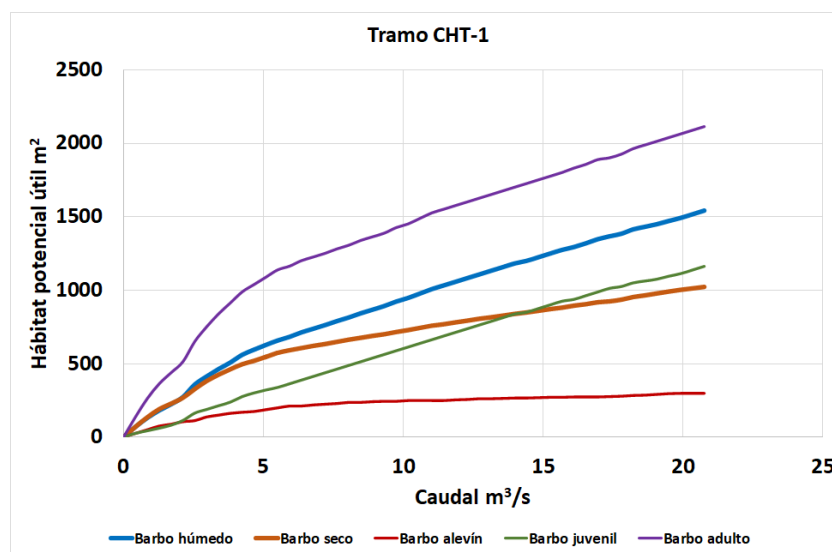


Figura 6.9. Curvas de disponibilidad de hábitat en el tramo CHT-1.

A partir de las curvas de hábitat se han calculado las curvas de porcentaje de hábitat potencial útil que se obtienen al estimar que el 100% de hábitat potencial útil corresponde al percentil 25% de las distintas series de caudales consideradas. Los resultados para el caso de análisis único se presentan en la figura 6.10. En la figura se muestran las curvas que corresponden al 100% de hábitat potencial útil determinado por el percentil 25% de la distribución de caudales del nuevo modelo SIMPA (arriba a la izquierda), la restitución de la serie de la estación de aforo EM-3009 (arriba a la derecha) y la serie ajustada de SIMPA (abajo). Sobre las curvas se han marcado los valores de

caudal que corresponden al 100%, 80%, 50% y 30% del hábitat potencial útil en la curva del estadio más determinante, que resulta ser el barbo adulto en todos los casos.

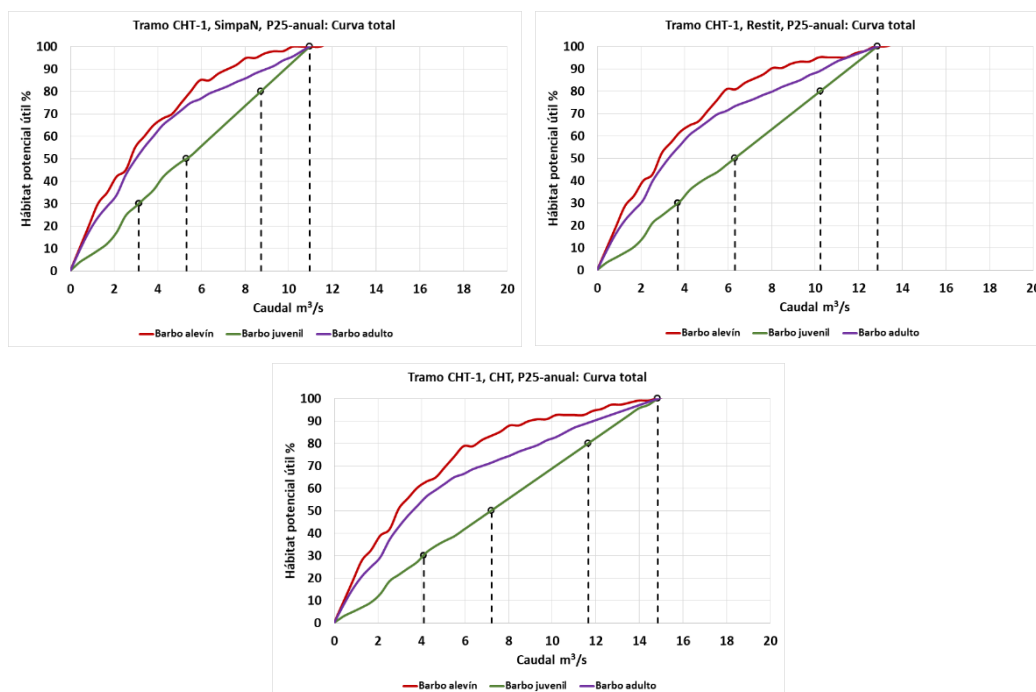


Figura 6.10. Curvas de % de hábitat potencial útil en el tramo CHT-1 deducidas del percentil 25% de distintas series. Arriba: valor correspondiente a SIMPA actualizado (izquierda) y restitución EM-3009 (derecha). Abajo: SIMPA modificado por CHT.

Los resultados del análisis por periodos se presentan en la figura 6.11. En la columna de la izquierda de la figura se muestran las curvas que corresponden al 100% de hábitat potencial útil determinado por el percentil 25% de la distribución de caudales en los meses de verano y otoño proporcionada por las tres series disponibles. Las curvas consideradas son las correspondientes al periodo seco: curva ponderada, alevín y adulto. En la columna de la derecha se muestran los resultados en el periodo húmedo, en el que los percentiles se calculan sobre los meses de invierno y primavera y las curvas consideradas son las correspondientes al periodo húmedo: ponderada, juvenil y adulto. Sobre las curvas se han marcado los valores de caudal que corresponden al 100%, 80%, 50% y 30% del hábitat potencial útil en la curva del estadio más determinante, que resulta ser la curva ponderada o el barbo adulto en periodo seco y el juvenil en el periodo húmedo.

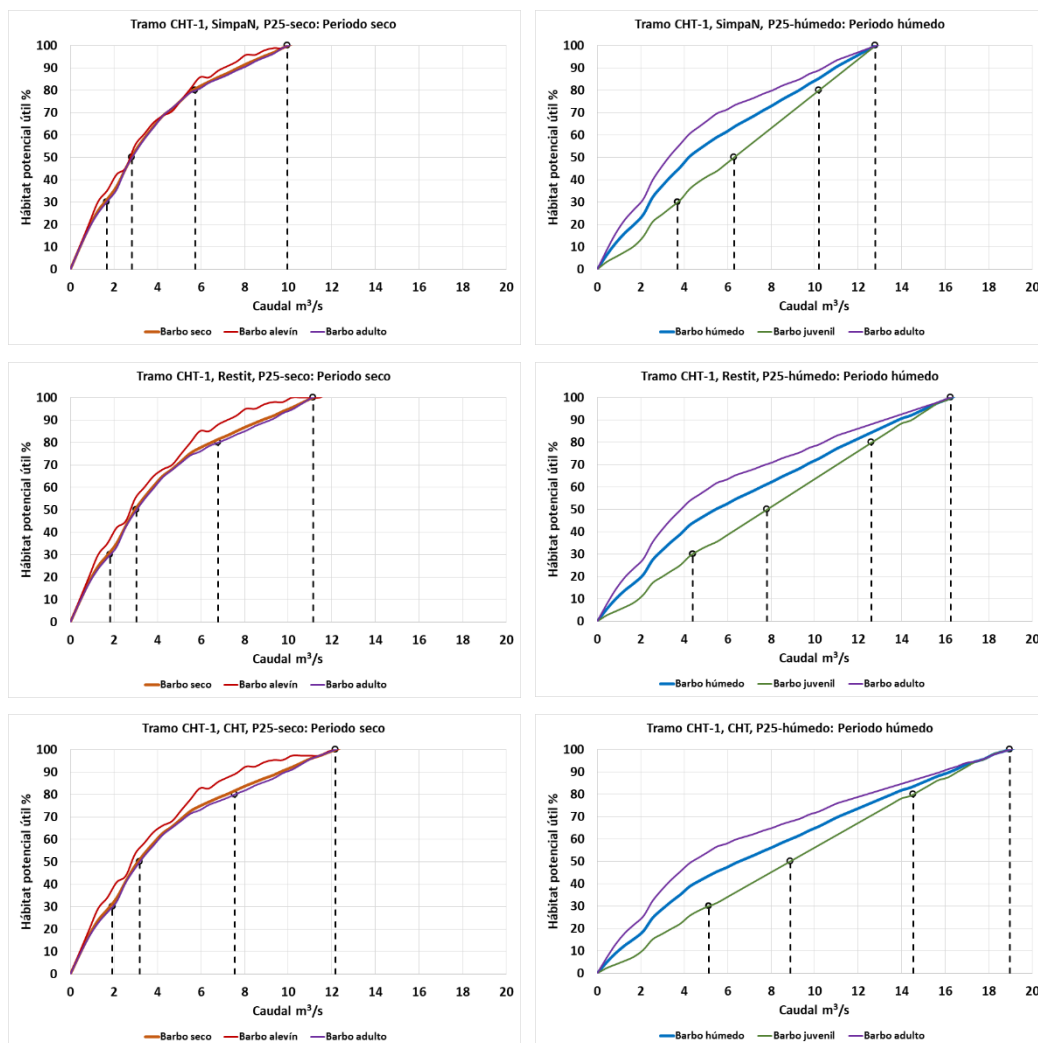


Figura 6.11. Curvas de % de hábitat potencial útil en el tramo CHT-1 para los periodos seco (izquierda) y húmedo (derecha). Series de SIMPA actualizado (arriba), restitución EM-3009 (centro) y SIMPA modificado por CHT (abajo).

Los valores que resultan del cálculo en los nueve casos se presentan en la Tabla 6.7. Al comparar esta tabla con la tabla 6.4, que presenta los resultados del cálculo en el tramo de Almoguera con el estadio adulto de las especies más restrictivas, se comprueba que los valores obtenidos en las hipótesis coincidentes son muy semejantes, a pesar de que las curvas se han estimado a partir de su representación gráfica. Partiendo de las distribuciones de las series disponibles y adoptando el criterio del 50% del hábitat potencial útil, el caudal ecológico mínimo anual en el tramo está comprendido entre 5,31 m³/s, que resulta para la serie SIMPA actualizada y 7,21 m³/s, que resulta para la serie SIMPA modificada por CHT. Si se discrimina entre periodos seco y húmedo, los valores medios que se obtienen están comprendidos entre 4,56 m³/s, que resulta para la serie SIMPA actualizada y 6,03 m³/s, que resulta para la serie SIMPA modificada por CHT.

Tabla 6.7: Caudales correspondientes a los porcentajes de HPU en el tramo CHT-1 estimados según los distintos cálculos realizados.

Serie de referencia	Hipótesis	30 % HPU	50 % HPU	80 % HPU	100 % HPU
		Caudal (m³/s)	Caudal (m³/s)	Caudal (m³/s)	Caudal (m³/s)
SIMPA actualizado	Anual	3.14	5.31	8.72	10.95
	Seco	1.66	2.84	5.73	9.97
	Húmedo	3.69	6.29	10.19	12.79
Restitución EM-3009	Anual	3.71	6.32	10.24	12.85
	Seco	1.82	3.04	6.79	11.13
	Húmedo	4.39	7.81	12.62	16.25
SIMPA ajustado por CHT	Anual	4.10	7.21	11.66	14.84
	Seco	1.92	3.19	7.54	12.16
	Húmedo	5.13	8.88	14.54	18.99

Análisis del tramo ICA-1

Este tramo está situado aguas abajo de Almoguera y antes de curva de remanso del embalse de Estremera. El emplazamiento de este tramo está muy próximo al del tramo anterior, por lo que las series hidrológicas consideradas son las ya presentadas en la tabla 6.6. Las curvas de disponibilidad de hábitat en función del caudal se han tomado del “Estudio del régimen de caudales ecológicos en el río Tajo mediante modelación de hábitat físico. Tramo embalse de Bolarque-río Jarama”, elaborado por ICA en 2013. Las curvas que relacionan el caudal con la superficie de hábitat disponibles para el barbo común se presentan en la figura 6.12, que muestra las curvas de hábitat potencial útil en función del caudal para barbo adulto, barbo juvenil y barbo alevín, junto con las curvas ponderadas correspondientes a periodo húmedo y seco. Ninguna de estas curvas presenta un máximo aparente en el rango de caudales analizado, que llega hasta los 60 m³/s.

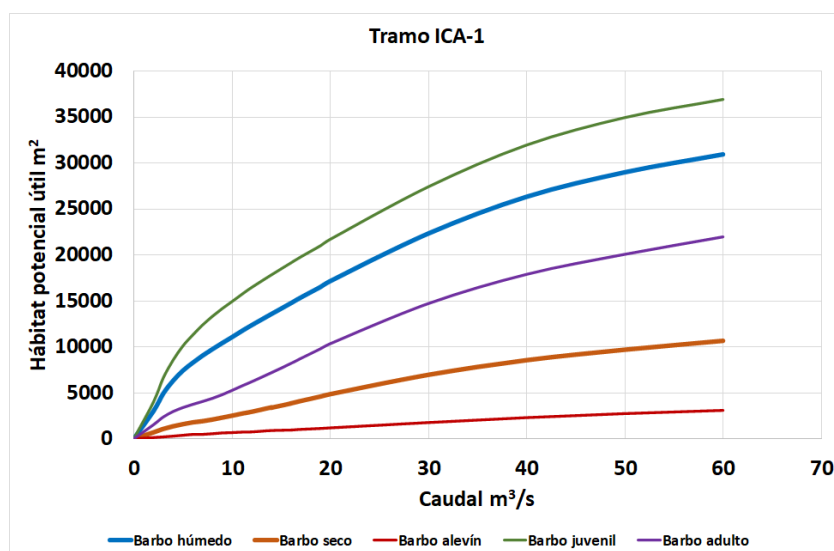


Figura 6.12. Curvas de disponibilidad de hábitat en el tramo ICA-1.

A partir de las curvas de hábitat se han calculado las curvas de porcentaje de hábitat potencial útil que se obtienen al estimar que el 100% de hábitat potencial útil

corresponde al percentil 25% de las distintas series de caudales consideradas. Los resultados para el caso de análisis único se presentan en la figura 6.13. En la figura se muestran las curvas que corresponden al 100% de hábitat potencial útil determinado por el percentil 25% de la distribución de caudales del nuevo modelo SIMPA (arriba a la izquierda), la restitución de la serie de la estación de aforo EM-3009 (arriba a la derecha) y la serie ajustada de SIMPA (abajo). Sobre las curvas se han marcado los valores de caudal que corresponden al 100%, 80%, 50% y 30% del hábitat potencial útil en la curva del estadio más determinante, que en algunos casos resulta ser el barbo adulto y en el barbo alevín en otros.

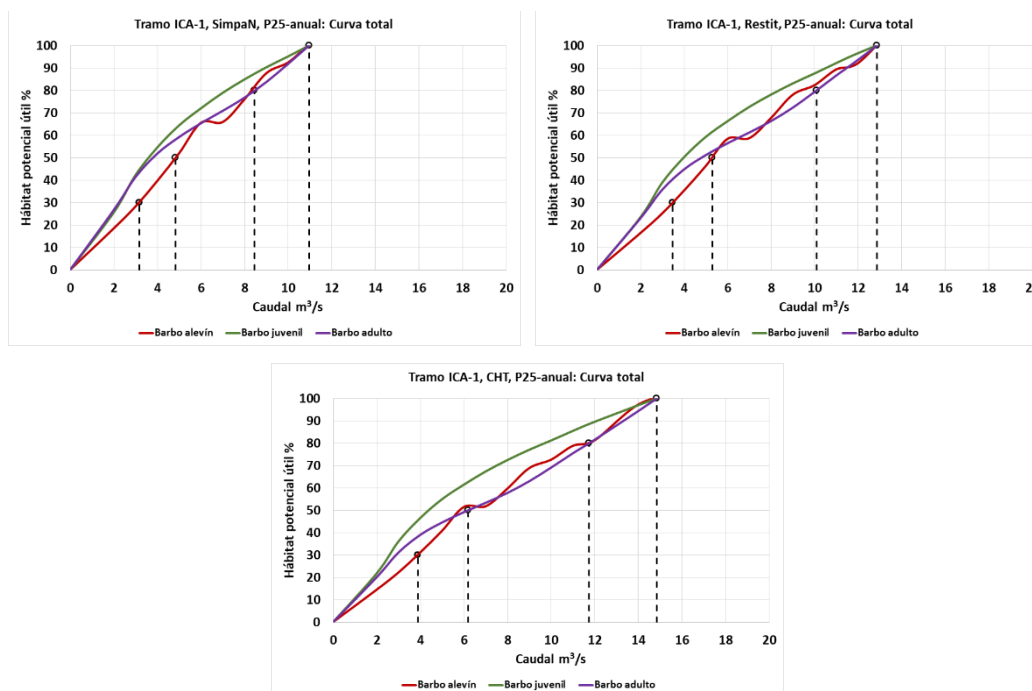


Figura 6.13. Curvas de % de hábitat potencial útil en el tramo ICA-1 deducidas del percentil 25% de distintas series. Arriba: valor correspondiente a SIMPA actualizado (izquierda) y restitución EM-3009 (derecha). Abajo: SIMPA modificado por CHT.

Los resultados del análisis por periodos se presentan en la figura 6.14. En la columna de la izquierda de la figura se muestran las curvas que corresponden al 100% de hábitat potencial útil determinado por el percentil 25% de la distribución de caudales en los meses de verano y otoño proporcionada por las tres series disponibles. Las curvas consideradas son las correspondientes al periodo seco: curva ponderada, alevín y adulto. En la columna de la derecha se muestran los resultados en el periodo húmedo, en el que los percentiles se calculan sobre los meses de invierno y primavera y las curvas consideradas son las correspondientes al periodo húmedo: ponderada, juvenil y adulto. Sobre las curvas se han marcado los valores de caudal que corresponden al 100%, 80%, 50% y 30% del hábitat potencial útil en la curva del estadio más determinante, que resulta ser la curva ponderada o el barbo alevín en periodo seco y el barbo adulto en el periodo húmedo.

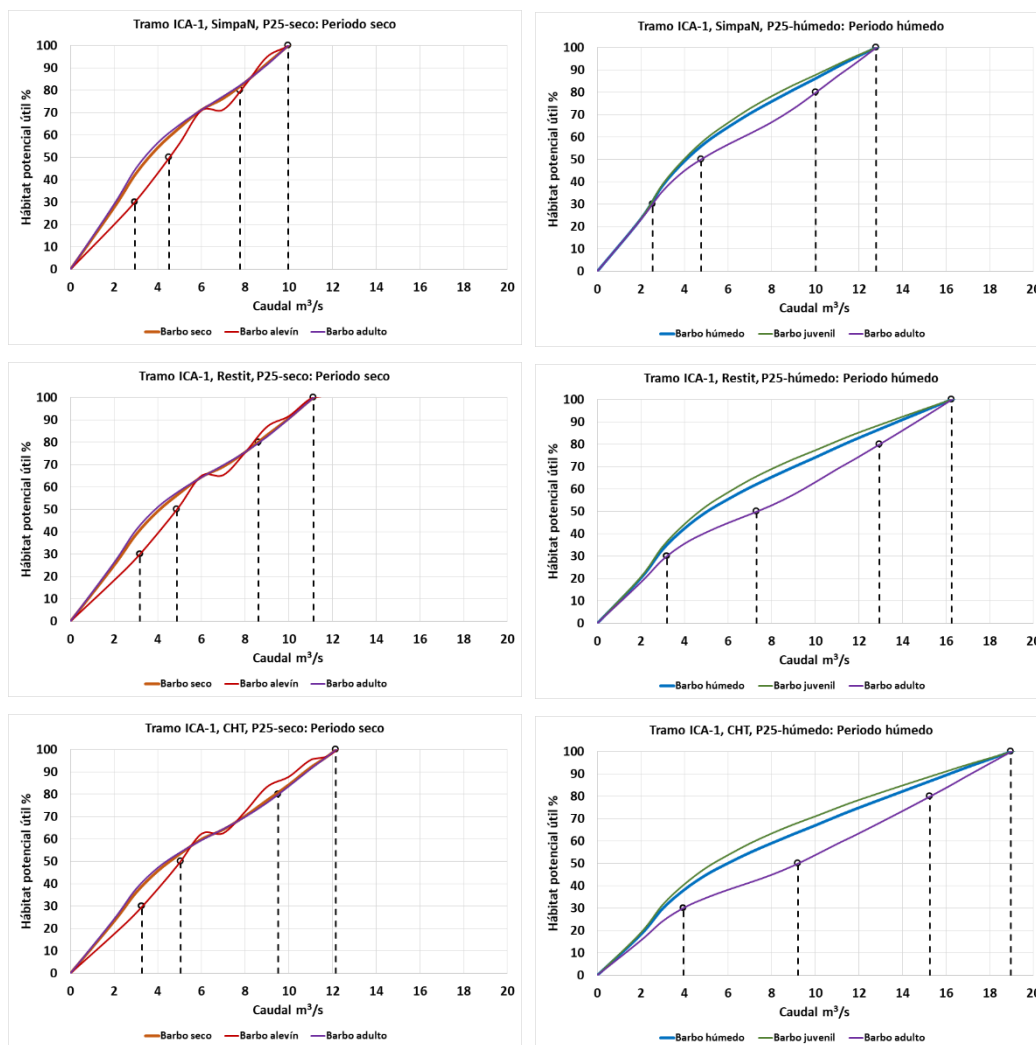


Figura 6.14. Curvas de % de hábitat potencial útil en el tramo ICA-1 para los periodos seco (izquierda) y húmedo (derecha). Series de SIMPA actualizado (arriba), restitución EM-3009 (centro) y SIMPA modificado por CHT (abajo).

Los valores que resultan del cálculo en los nueve casos se presentan en la Tabla 6.9. Estos valores son generalmente inferiores a los que se obtienen en el tramo analizado por CHT, que se encuentra próximo. El caudal ecológico mínimo anual en el tramo está comprendido entre 4,84 m³/s, que resulta para la serie SIMPA actualizada y 6,20 m³/s, que resulta para la serie SIMPA modificada por CHT. Si se discrimina entre periodos seco y húmedo, los valores medios que se obtienen están comprendidos entre 4,65 m³/s, que resulta para la serie SIMPA actualizada y 7,12 m³/s, que resulta para la serie SIMPA modificada por CHT.

Tabla 6.9: Caudales correspondientes a los porcentajes de HPU en el tramo ICA-1 estimados según los distintos cálculos realizados.

Serie de referencia	Hipótesis	30 % HPU	50 % HPU	80 % HPU	100 % HPU
		Caudal (m ³ /s)	Caudal (m ³ /s)	Caudal (m ³ /s)	Caudal (m ³ /s)
SIMPA actualizado	Anual	3.15	4.84	8.46	10.95
	Seco	2.94	4.53	7.78	9.97
	Húmedo	2.54	4.78	10.03	12.79
Restitución EM-3009	Anual	3.47	5.30	10.08	12.85
	Seco	3.17	4.87	8.63	11.13
	Húmedo	3.22	7.32	12.94	16.25
SIMPA ajustado por CHT	Anual	3.87	6.20	11.74	14.84
	Seco	3.29	5.04	9.51	12.16
	Húmedo	3.94	9.21	15.26	18.99

Análisis del tramo ICA-1b

Este tramo es el mismo que el analizado en el apartado anterior, pero se emplean las nuevas curvas de hábitat que obtuvo la empresa ICA en su “Estudio de modelación del hábitat físico por métodos hidrobiológicos en el tramo del río Tajo Embalse de Bolarque-Talavera de la Reina”, finalizado en noviembre de 2019. Estas se presentan en la figura 6.15, que muestra las curvas de hábitat potencial útil en función del caudal para barbo adulto, barbo juvenil y barbo alevín, junto con las curvas ponderadas correspondientes a periodo húmedo y seco. Estas curvas difieren de las mostradas en la figura 6.13, puesto que en este caso sí presentan un máximo en el rango de caudales analizado, en torno a los 35 m³/s. Se trata de un caudal muy elevado, que no sólo supera la media de la distribución de régimen natural, sino que corresponde aproximadamente al percentil 80%. Esto indica que este caudal no circula habitualmente por el río, ya que sólo se supera el 20% del tiempo.

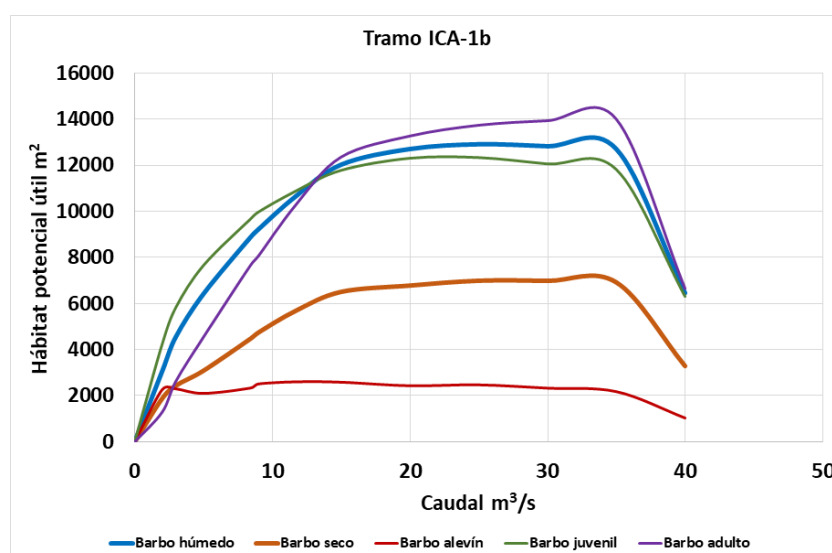


Figura 6.15. Curvas de disponibilidad de hábitat en el tramo ICA-1b.

Aunque es difícil argumentar que un caudal que se supera sólo el 20% del tiempo puede corresponder al 100% del hábitat potencial útil a efectos de cálculo de caudal

mínimo, se han realizado también los cálculos tomando el máximo de la curva como el 100% del hábitat potencial útil, aunque estos resultados no deben tomarse en consideración. También se han realizado los cálculos suponiendo que el 100% de hábitat potencial útil corresponde al percentil 25% de las distintas series de caudales consideradas. Los resultados para el caso de análisis único se presentan en la figura 6.16. En la figura se muestran las curvas que corresponden al 100% de hábitat potencial útil determinado por el máximo de la curva del barbo adulto (arriba a la izquierda), el percentil 25% de la distribución de caudales del nuevo modelo SIMPA (arriba a la derecha), la restitución de la serie de la estación de aforo EM-3009 (abajo a la izquierda) y la serie ajustada de SIMPA (abajo a la derecha). Sobre las curvas se han marcado los valores de caudal que corresponden al 100%, 80%, 50% y 30% del hábitat potencial útil en la curva del estadio más determinante, que resulta ser el barbo adulto en todos los casos.

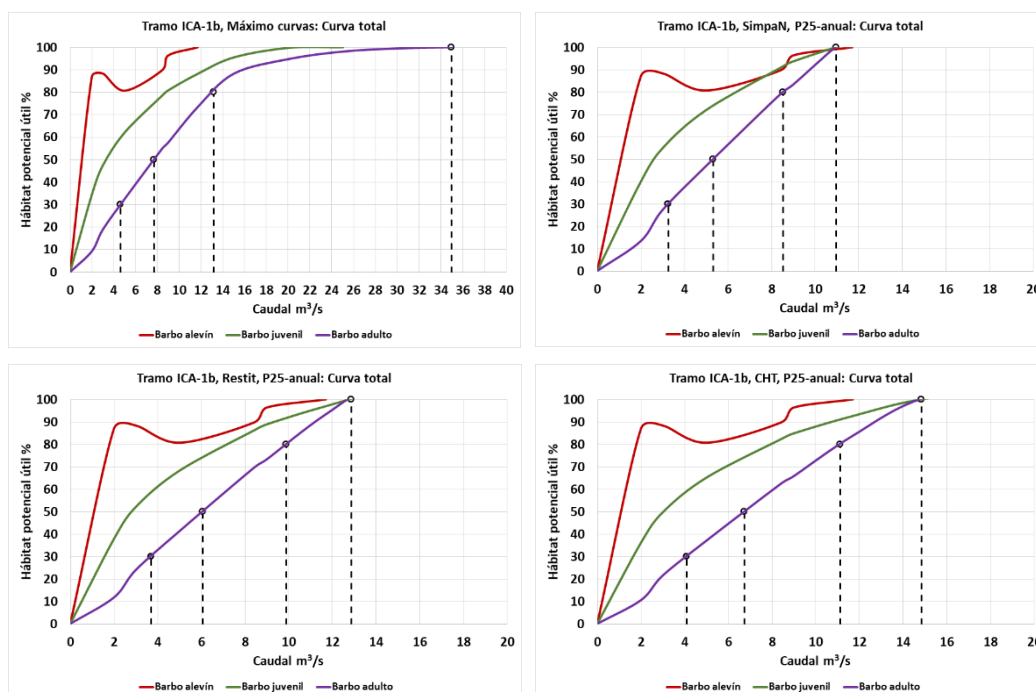


Figura 6.16. Curvas de % de hábitat potencial útil en el tramo ICA-1b deducidas del percentil 25% de distintas series. Arriba: valor correspondiente al máximo de la curva (izquierda) y SIMPA actualizado (derecha). Abajo: EM-3009 (izquierda) y SIMPA modificado por CHT (derecha).

Los resultados del análisis por periodos se presentan en la figura 6.17. En la columna de la izquierda de la figura se muestran los análisis que corresponden al periodo seco y en la columna de la derecha se muestran los análisis que corresponden al periodo húmedo. La primera fila contiene los resultados tomando como 100% del hábitat potencial útil los máximos de la curva caudal-hábitat. El resto de las filas contienen los resultados con las tres series hidrológicas disponibles. Sobre las curvas se han marcado los valores de caudal que corresponden al 100%, 80%, 50% y 30% del hábitat potencial útil en la curva del estadio más determinante, que resulta ser el barbo adulto en todos los casos.

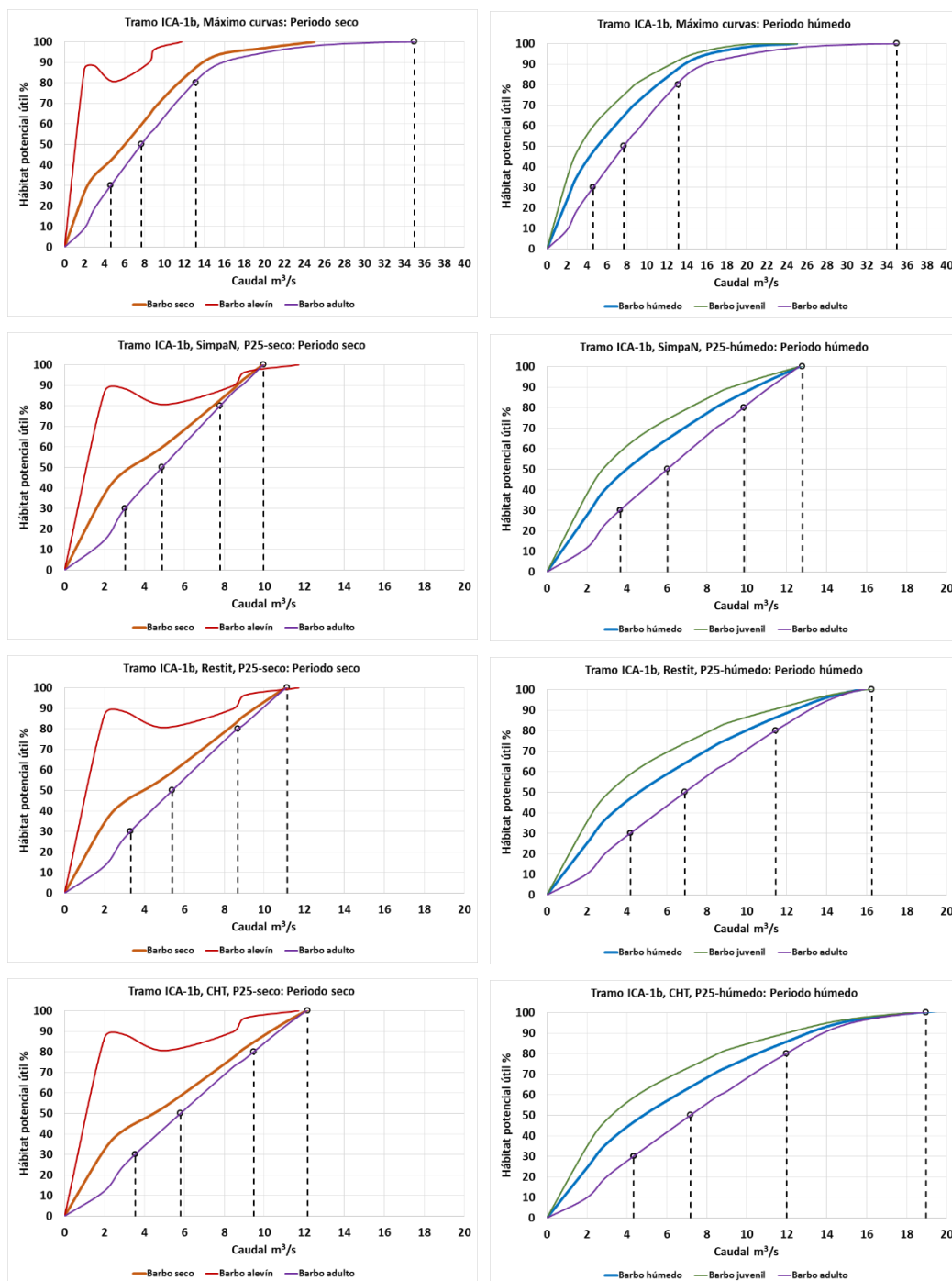


Figura 6.17. Curvas de % de hábitat potencial útil en el tramo ICA-1b para los periodos seco (izquierda) y húmedo (derecha). Máximos de la curva (arriba), series de SIMPA actualizado (centro-arriba), restitución EM-3009 (centro-abajo) y SIMPA modificado por CHT (abajo).

Los valores que resultan del cálculo en los doce casos se presentan en la tabla 6.10. Los caudales ecológicos estimados a partir del máximo de la curva resultan elevados. El caudal que corresponde al 100% del hábitat potencial útil es el máximo de la curva del barbo adulto, que es 35 m³/s. Este caudal sólo se supera el 20% del tiempo en la serie natural, y daría lugar a un caudal ecológico de 7,69 m³/s. En el caso de caudales ecológicos estimados a partir de los percentiles, estos valores son



generalmente superiores a los que se obtuvieron en el mismo tramo con las curvas hábitat-caudal de 2013. El caudal ecológico mínimo anual en el tramo está comprendido entre 5,32 m³/s, que resulta para la serie SIMPA actualizada y 6,73 m³/s, que resulta para la serie SIMPA corregida por CHT. Si se discrimina entre periodos seco y húmedo, los valores medios que se obtienen están comprendidos entre 5,45 m³/s, que resulta para la serie SIMPA actualizada y 6,50 m³/s, que resulta para la serie SIMPA corregida por CHT.

Tabla 6.10: Caudales correspondientes a los porcentajes de HPU en el tramo ICA-1b estimados según los distintos cálculos realizados.

Serie de referencia	Hipótesis	30 % HPU	50 % HPU	80 % HPU	100 % HPU
		Caudal (m ³ /s)	Caudal (m ³ /s)	Caudal (m ³ /s)	Caudal (m ³ /s)
Máximos de la curva	Anual	4.64	7.69	13.17	35.00
	Seco	4.64	7.69	13.17	35.00
	Húmedo	4.64	7.69	13.17	35.00
SIMPA actualizado	Anual	3.27	5.32	8.52	10.95
	Seco	3.02	4.88	7.79	9.97
	Húmedo	3.68	6.03	9.86	12.79
Restitución EM-3009	Anual	3.69	6.05	9.90	12.85
	Seco	3.32	5.40	8.69	11.13
	Húmedo	4.19	6.91	11.44	16.25
SIMPA ajustado por CHT	Anual	4.09	6.73	11.12	14.84
	Seco	3.56	5.81	9.47	12.16
	Húmedo	4.35	7.19	12.00	18.99

Análisis del tramo ICA-2

Este tramo está situado en la masa F0103021, “Río Tajo desde Embalse de Estremera hasta Arroyo del Álamo”, aguas abajo del Salto de Valderribas y antes de la curva de remanso del azud de Buenamesón. Las series hidrológicas se han obtenido a partir de las correspondientes a la masa F0105021, “Río Tajo desde Embalse de Almoguera hasta Embalse de Estremera” y la masa F0103021. Los valores de los estadísticos representativos de las series se presentan en la tabla 6.11.

Tabla 6.11: Estadísticos representativos de las series disponibles en el tramo ICA-2, calculados sobre el periodo 1980-81 a 2017-18.

Estadístico	SIMPA actualizado			Restitución EM3009			SIMPA ajustado por CHT		
	Anual	Seco	Húm.	Anual	Seco	Húm.	Anual	Seco	Húm.
Media (m ³ /s)	27.83	20.85	34.82	25.43	16.97	33.90	26.05	17.59	34.51
Mediana (m ³ /s)	17.65	15.22	23.18	17.29	14.42	25.95	19.44	15.66	26.41
Máximo (m ³ /s)	196.36	194.70	196.08	182.59	94.81	182.59	151.87	91.14	151.87
Mínimo (m ³ /s)	4.32	4.32	6.23	7.10	7.10	9.30	6.17	6.17	11.62
Desviación Estándar (m ³ /s)	29.93	22.98	34.25	20.66	10.79	24.39	19.63	13.20	21.85
Coefficiente de Variación	1.08	1.10	0.98	0.81	0.64	0.72	0.75	0.75	0.63
Percentil 5% (m ³ /s)	6.84	22.98	8.42	9.71	10.79	12.72	9.20	13.20	15.50
Percentil 10% (m ³ /s)	8.20	7.08	9.13	10.80	9.83	13.48	11.30	9.20	16.57
Percentil 15% (m ³ /s)	9.03	8.01	10.21	11.63	10.47	14.63	13.00	10.44	17.94
Percentil 20% (m ³ /s)	10.02	8.99	11.01	12.49	10.81	15.60	14.28	11.30	18.97
Percentil 25% (m ³ /s)	11.06	10.02	12.84	13.13	11.31	16.69	15.15	12.24	19.51

Percentil 75% (m ³ /s)	30.34	21.48	45.03	30.55	18.33	43.25	29.28	19.38	41.86
-----------------------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Las curvas de disponibilidad de hábitat en función del caudal se han tomado del “Estudio del régimen de caudales ecológicos en el río Tajo mediante modelación de hábitat físico. Tramo embalse de Bolarque-río Jarama”, elaborado por ICA en 2013. En este tramo, la especie más restrictiva resultó ser la boga. Las curvas que relacionan el caudal con la superficie de hábitat disponibles para la boga común se presentan en la figura 6.18, que muestra las curvas de hábitat potencial útil en función del caudal para boga adulta, boga juvenil y boga alevín, junto con las curvas ponderadas correspondientes a periodo húmedo y seco. La única curva que presenta un máximo aparente en el rango de caudales analizado es la de la boga alevín, en torno a los 5 m³/s.

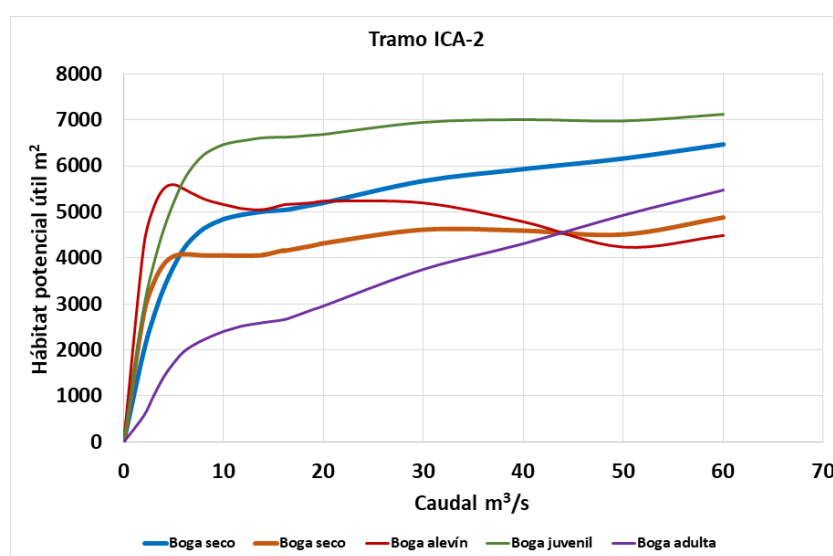


Figura 6.18. Curvas de disponibilidad de hábitat en el tramo ICA-2.

A partir de las curvas de hábitat se han calculado las curvas de porcentaje de hábitat potencial útil que se obtienen al estimar que el 100% de hábitat potencial útil corresponde al percentil 25% de las distintas series de caudales consideradas, excepto en el caso de la boga alevín, donde se ha adoptado el máximo de la curva. Los resultados para el caso de análisis único se presentan en la figura 6.19. En la figura se muestran las curvas que corresponden al 100% de hábitat potencial útil determinado por el percentil 25% de la distribución de caudales del nuevo modelo SIMPA (arriba a la izquierda), la restitución de la serie de la estación de aforo EM-3009 (arriba a la derecha) y la serie ajustada de SIMPA (abajo). Sobre las curvas se han marcado los valores de caudal que corresponden al 100%, 80%, 50% y 30% del hábitat potencial útil en la curva del estadio más determinante, que resulta ser la boga adulta en todos los casos.

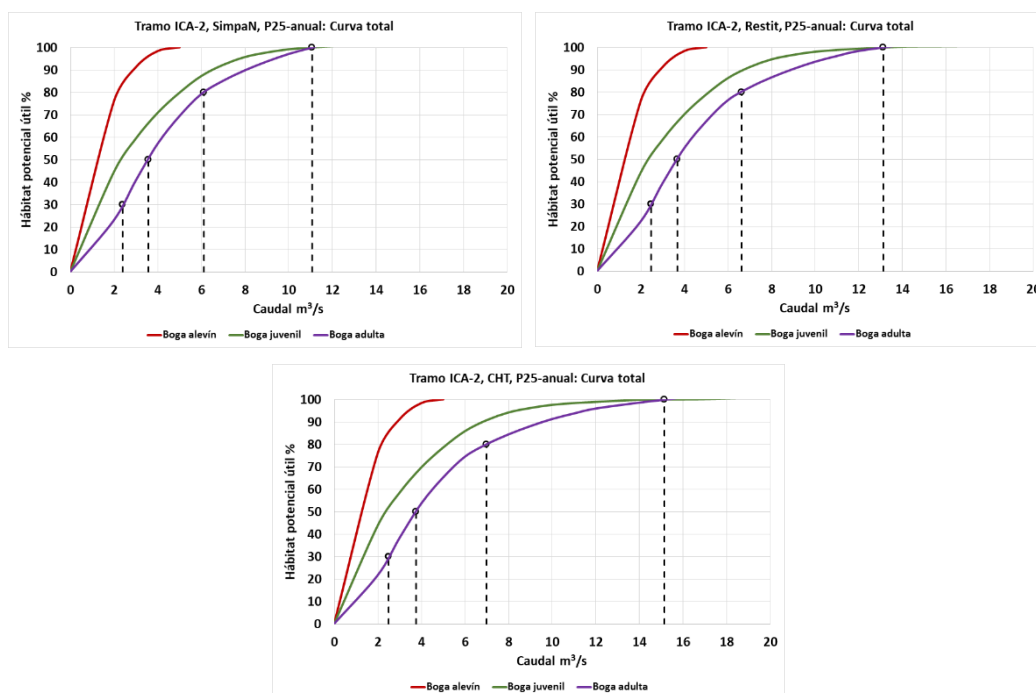


Figura 6.19. Curvas de % de hábitat potencial útil en el tramo ICA-2 deducidas del percentil 25% de distintas series. Arriba: valor correspondiente a SIMPA actualizado (izquierda) y restitución EM-3009 (derecha). Abajo: SIMPA modificado por CHT.

Los resultados del análisis por periodos se presentan en la figura 6.20. En la columna de la izquierda de la figura se muestran las curvas que corresponden al 100% de hábitat potencial útil determinado por el percentil 25% de la distribución de caudales en los meses de verano y otoño proporcionada por las tres series disponibles. Las curvas consideradas son las correspondientes al periodo seco: curva ponderada, alevín y adulto. En la columna de la derecha se muestran los resultados en el periodo húmedo, en el que los percentiles se calculan sobre los meses de invierno y primavera y las curvas consideradas son las correspondientes al periodo húmedo: ponderada, juvenil y adulto. Sobre las curvas se han marcado los valores de caudal que corresponden al 100%, 80%, 50% y 30% del hábitat potencial útil en la curva del estadio más determinante, que resulta ser la boga adulta en todos los casos.

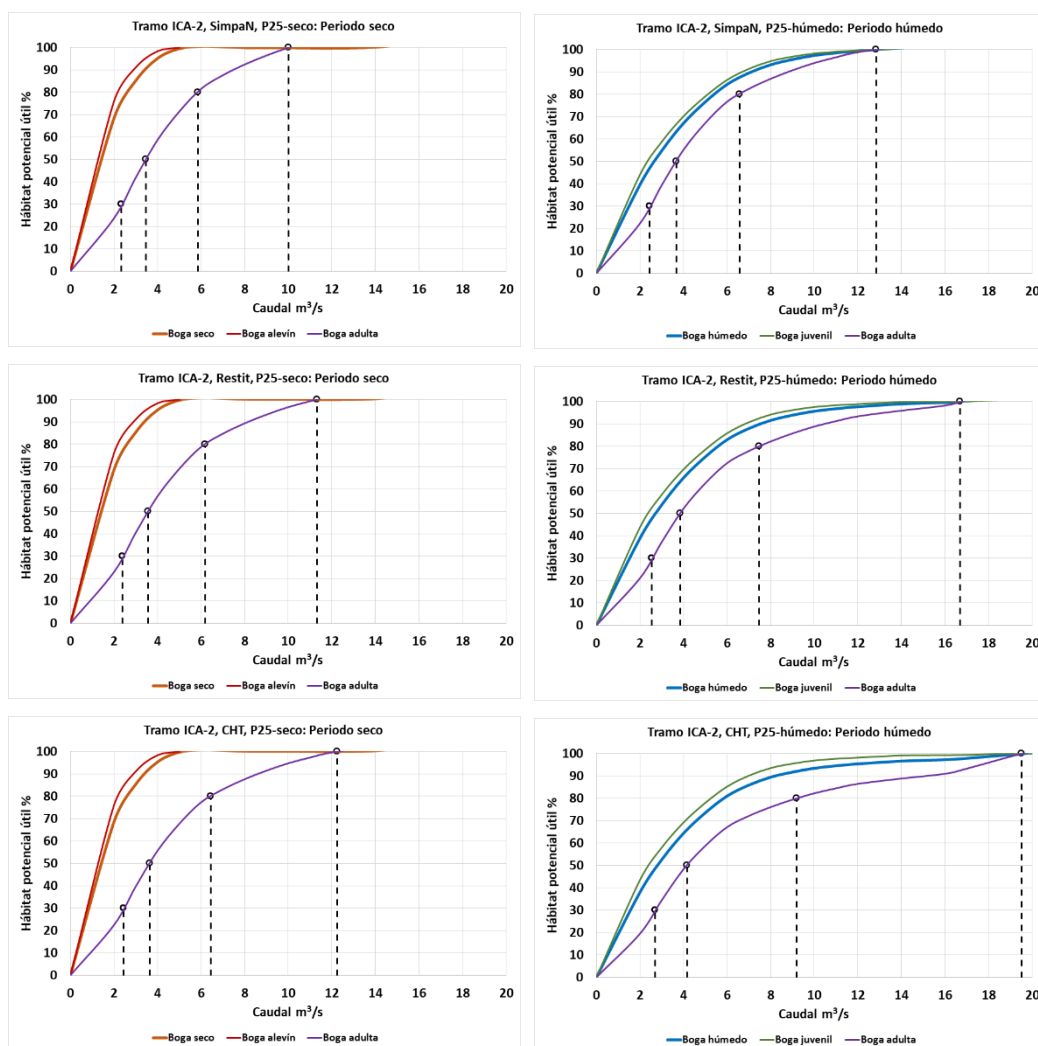


Figura 6.20. Curvas de % de hábitat potencial útil en el tramo ICA-2 para los periodos seco (izquierda) y húmedo (derecha). Series de SIMPA actualizado (arriba), restitución EM-3009 (centro) y SIMPA modificado por CHT (abajo).

Los valores que resultan del cálculo en los nueve casos se presentan en la tabla 6.12. Estos valores son bastante inferiores a los que resultan en los tramos próximos al embalse de Almoquera. El caudal ecológico mínimo anual en el tramo está comprendido entre $3,56 \text{ m}^3/\text{s}$, que resulta para la serie SIMPA actualizada y $3,76 \text{ m}^3/\text{s}$, que resulta para la serie SIMPA modificado por CHT. Si se discrimina entre periodos seco y húmedo, los valores medios que se obtienen están comprendidos entre $3,57 \text{ m}^3/\text{s}$, que resulta para la serie SIMPA actualizada y $3,90 \text{ m}^3/\text{s}$, que resulta para la serie SIMPA modificado por CHT.



Tabla 6.12: Caudales correspondientes a los porcentajes de HPU en el tramo ICA-2 estimados según los distintos cálculos realizados.

Serie de referencia	Hipótesis	30 % HPU	50 % HPU	80 % HPU	100 % HPU
		Caudal (m³/s)	Caudal (m³/s)	Caudal (m³/s)	Caudal (m³/s)
SIMPA actualizado	Anual	2.39	3.56	6.11	11.06
	Seco	2.35	3.48	5.84	10.02
	Húmedo	2.45	3.67	6.57	12.84
Restitución EM-3009	Anual	2.46	3.68	6.62	13.13
	Seco	2.40	3.58	6.19	11.31
	Húmedo	2.55	3.85	7.48	16.69
SIMPA ajustado por CHT	Anual	2.50	3.76	6.98	15.15
	Seco	2.43	3.64	6.45	12.24
	Húmedo	2.70	4.16	9.20	19.51

Análisis del tramo ICA-3

Este tramo está situado aguas abajo del azud de Valdajos, antes del canal de restitución de la central hidroeléctrica que se encuentra más aguas abajo. El emplazamiento de este tramo está muy próximo al extremo de aguas abajo de la masa de agua F0103021, “Río Tajo desde Embalse de Estremera hasta Arroyo del Álamo”. Las series hidrológicas se han obtenido a partir de las correspondientes a dicha masa. Los valores de sus estadísticos representativos se presentan en la tabla 6.13.

Tabla 6.13: Estadísticos representativos de las series disponibles en el tramo ICA-3, calculados sobre el periodo 1980-81 a 2017-18.

Estadístico	SIMPA actualizado			Restitución EM3009			SIMPA ajustado por CHT		
	Anual	Seco	Húm.	Anual	Seco	Húm.	Anual	Seco	Húm.
Media (m³/s)	28.07	21.03	37.85	25.63	17.11	34.16	26.25	17.73	34.77
Mediana (m³/s)	17.75	15.27	20.86	17.48	14.56	26.05	19.67	15.75	26.65
Máximo (m³/s)	200.49	198.12	200.49	183.94	95.40	183.94	153.22	91.73	153.22
Mínimo (m³/s)	4.32	4.32	6.28	7.22	7.22	9.54	6.18	6.18	11.89
Desviación Estándar (m³/s)	30.36	23.41	41.90	20.77	10.87	24.50	19.74	10.56	22.91
Coefficiente de Variación	1.08	1.11	1.11	0.81	0.64	0.72	0.75	0.60	0.66
Percentil 5% (m³/s)	6.85	23.41	8.40	9.82	10.87	12.86	9.22	10.56	15.65
Percentil 10% (m³/s)	8.23	7.10	9.09	10.84	9.93	13.65	11.34	9.22	16.71
Percentil 15% (m³/s)	9.06	8.03	9.90	11.74	10.54	14.85	13.07	10.52	18.17
Percentil 20% (m³/s)	10.04	9.03	10.53	12.64	10.86	15.73	14.42	11.34	19.10
Percentil 25% (m³/s)	11.10	10.04	11.13	13.24	11.39	16.88	15.29	12.28	19.74
Percentil 75% (m³/s)	30.57	21.67	48.84	30.76	18.48	43.44	29.48	19.58	42.15

Las curvas de disponibilidad de hábitat en función del caudal se han tomado del “Estudio del régimen de caudales ecológicos en el río Tajo mediante modelación de hábitat físico. Tramo embalse de Bolarque-río Jarama”, elaborado por ICA en 2013. Las curvas que relacionan el caudal con la superficie de hábitat disponibles para el barbo común se presentan en la figura 6.21, que muestra las curvas de hábitat potencial útil en función del caudal para barbo adulto, barbo juvenil y barbo alevín, junto con las curvas ponderadas correspondientes a periodo húmedo y seco. Estas curvas presentan un máximo en el rango de caudales analizado, en torno a los 40 m³/s. Se trata de un

caudal muy elevado, que no sólo supera la media de la distribución de régimen natural, sino que corresponde aproximadamente al percentil 85%.

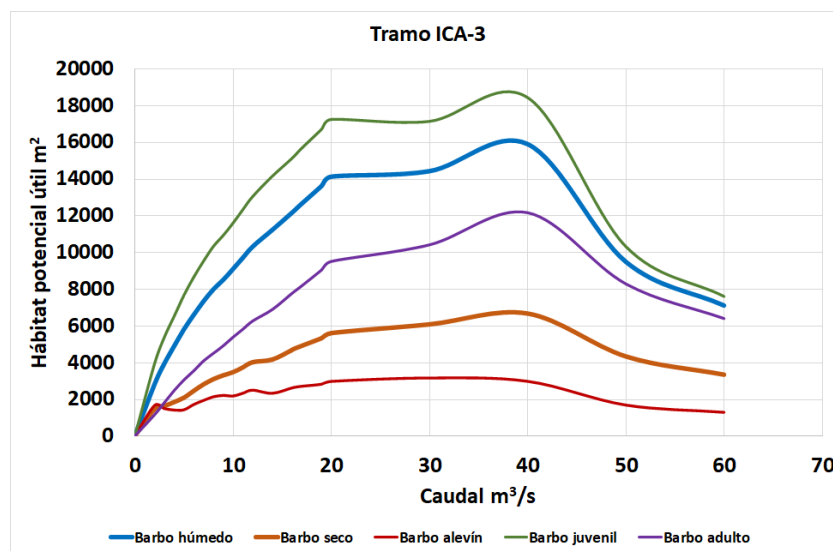


Figura 6.21. Curvas de disponibilidad de hábitat en el tramo ICA-3.

Aunque es difícil argumentar que un caudal que se supera sólo el 15% del tiempo puede corresponder al 100% del hábitat potencial útil a efectos de cálculo de caudal mínimo, se han realizado también los cálculos tomando el máximo de la curva como el 100% del hábitat potencial útil, aunque estos resultados no deben tomarse en consideración. También se han realizados los cálculos suponiendo que el 100% de hábitat potencial útil corresponde al percentil 25% de las distintas series de caudales consideradas. Los resultados para el caso de análisis único se presentan en la figura 6.22. En la figura se muestran las curvas que corresponden al 100% de hábitat potencial útil determinado por el máximo de la curva del barbo adulto (arriba a la izquierda), el percentil 25% de la distribución de caudales del nuevo modelo SIMPA (arriba a la derecha), la restitución de la serie de la estación de aforo EM-3009 (abajo a la izquierda) y la serie ajustada de SIMPA (abajo a la derecha). Sobre las curvas se han marcado los valores de caudal que corresponden al 100%, 80%, 50% y 30% del hábitat potencial útil en la curva del estadio más determinante, que resulta ser el barbo adulto en todos los casos.

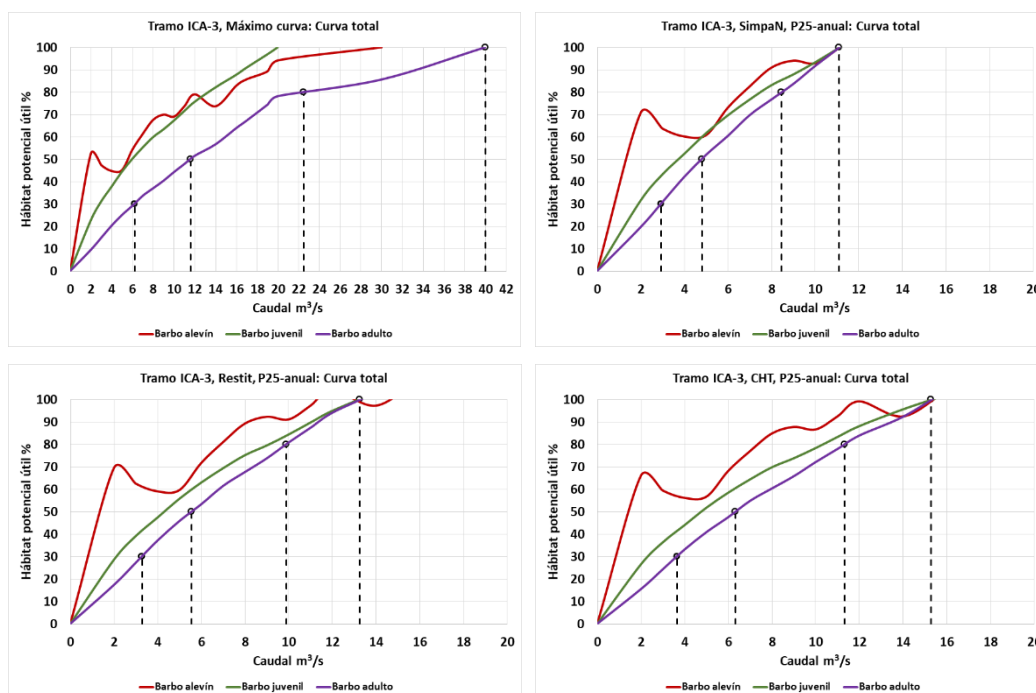


Figura 6.22. Curvas de % de hábitat potencial útil en el tramo ICA-3 deducidas del percentil 25% de distintas series. Arriba: valor correspondiente al máximo de la curva (izquierda) y SIMPA actualizado (derecha). Abajo: EM-3009 (izquierda) y SIMPA modificado por CHT (derecha).

Los resultados del análisis por periodos se presentan en la figura 6.23. En la columna de la izquierda de la figura se muestran los análisis que corresponden al periodo seco y en la columna de la derecha se muestran los análisis que corresponden al periodo húmedo. La primera fila contiene los resultados tomando como 100% del hábitat potencial útil los máximos de la curva caudal-hábitat. El resto de las filas contienen los resultados con las tres series hidrológicas disponibles. Sobre las curvas se han marcado los valores de caudal que corresponden al 100%, 80%, 50% y 30% del hábitat potencial útil en la curva del estadio más determinante, que resulta ser el barbo adulto en todos los casos.

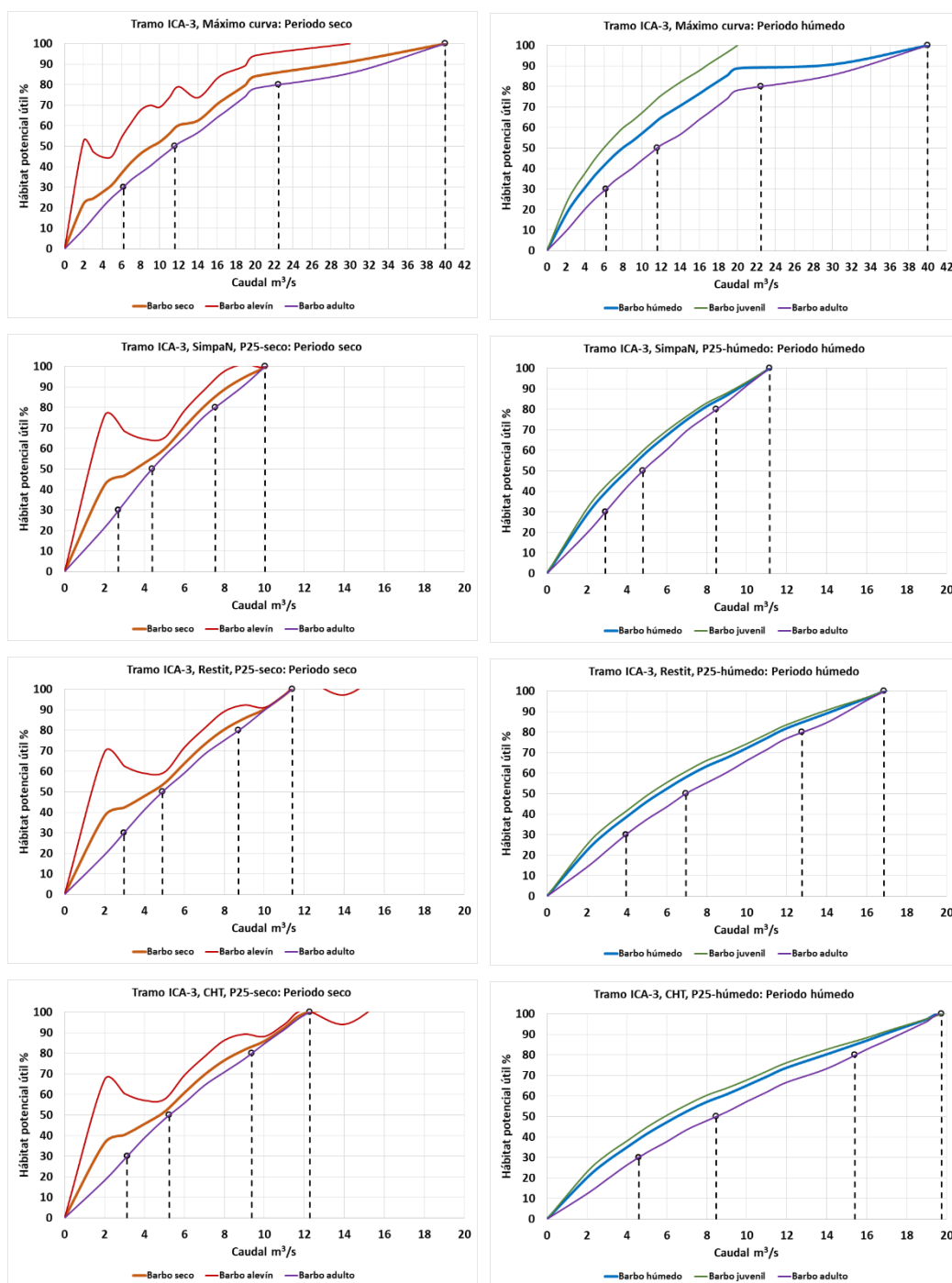


Figura 6.23. Curvas de % de hábitat potencial útil en el tramo ICA-3 para los periodos seco (izquierda) y húmedo (derecha). Máximos de la curva (arriba), series de SIMPA actualizado (centro-arriba), restitución EM-3009 (centro-abajo) y SIMPA modificado por CHT (abajo).

Los valores que resultan del cálculo en los doce casos se presentan en la tabla 6.14. Los caudales ecológicos estimados a partir del máximo de la curva resultan muy elevados. El caudal que corresponde al 100% del hábitat potencial útil es el máximo de la curva del barbo adulto, que es 40 m³/s. Este caudal sólo se supera el 15% del tiempo



en la serie natural. Daría lugar a un caudal ecológico de $11,59 \text{ m}^3/\text{s}$, pero este resultado no debe ser tenido en cuenta. En el caso de caudales ecológicos estimados a partir de los percentiles, el caudal ecológico mínimo anual en el tramo está comprendido entre $4,79 \text{ m}^3/\text{s}$, que resulta para la serie SIMPA actualizada y $6,33 \text{ m}^3/\text{s}$, que resulta para la serie SIMPA corregida por CHT. Si se discrimina entre periodos seco y húmedo, los valores medios que se obtienen están comprendidos entre $4,60 \text{ m}^3/\text{s}$, que resulta para la serie SIMPA actualizada y $6,86 \text{ m}^3/\text{s}$, que resulta para la serie SIMPA corregida por CHT.

Tabla 6.14: Caudales correspondientes a los porcentajes de HPU en el tramo ICA-3 estimados según los distintos cálculos realizados.

Serie de referencia	Hipótesis	30 % HPU	50 % HPU	80 % HPU	100 % HPU
		Caudal (m^3/s)	Caudal (m^3/s)	Caudal (m^3/s)	Caudal (m^3/s)
Máximos de la curva	Anual	6.18	11.59	22.48	40.00
	Seco	6.18	11.59	22.48	40.00
	Húmedo	6.18	11.59	22.48	40.00
SIMPA actualizado	Anual	2.92	4.79	8.46	11.10
	Seco	2.71	4.39	7.55	10.04
	Húmedo	2.92	4.80	8.49	11.13
Restitución EM-3009	Anual	3.28	5.55	9.87	13.24
	Seco	2.98	4.90	8.71	11.39
	Húmedo	3.95	6.95	12.77	16.88
SIMPA ajustado por CHT	Anual	3.64	6.33	11.33	15.29
	Seco	3.14	5.25	9.36	12.28
	Húmedo	4.59	8.46	15.41	19.74

Análisis del tramo CHT-2

Este tramo es el analizado por CHT para Aranjuez. Las series hidrológicas disponibles son las correspondientes a la masa 0101021, cuyos estadísticos principales se presentan en la tabla 6.15.

Tabla 6.15: Estadísticos representativos de las series disponibles en los tramos CHT-2 e ICA-4, calculados sobre el periodo 1980-81 a 2017-18.

Estadístico	SIMPA actualizado			Restitución EM3009			SIMPA ajustado por CHT		
	Anual	Seco	Húm.	Anual	Seco	Húm.	Anual	Seco	Húm.
Media (m^3/s)	28.23	21.18	35.28	25.76	17.21	34.31	26.38	17.83	34.92
Mediana (m^3/s)	17.86	15.34	23.41	17.58	14.60	26.14	19.76	15.78	26.70
Máximo (m^3/s)	202.74	199.45	202.74	186.31	96.28	186.31	155.59	92.61	155.59
Mínimo (m^3/s)	4.33	4.33	6.32	7.24	7.24	9.62	6.20	6.20	11.94
Desviación Estándar (m^3/s)	30.59	23.67	34.92	20.91	11.00	24.66	19.90	10.71	23.08
Coefficiente de Variación	1.08	1.12	0.99	0.81	0.64	0.72	0.75	0.60	0.66
Percentil 5% (m^3/s)	6.87	23.67	8.47	9.88	11.00	12.91	9.24	10.71	15.72
Percentil 10% (m^3/s)	8.27	7.13	9.18	10.87	9.96	13.74	11.36	9.24	16.75
Percentil 15% (m^3/s)	9.09	8.05	10.29	11.82	10.56	14.92	13.11	10.54	18.26
Percentil 20% (m^3/s)	10.07	9.04	11.12	12.66	10.89	15.77	14.48	11.36	19.14
Percentil 25% (m^3/s)	11.15	10.07	12.89	13.33	11.44	16.96	15.34	12.31	19.82
Percentil 75% (m^3/s)	30.73	21.83	45.42	30.84	18.55	43.56	29.59	19.63	42.32

Las curvas de disponibilidad de hábitat en función del caudal se han tomado del Documento Auxiliar 03, “Fichas por masas de agua de la distribución temporal de caudales mínimos mediante la modelización de la idoneidad del hábitat con métodos hidrobiológicos” del Plan Hidrológico del Tajo 2015. En la figura 6.24, tomada de dicho documento, se muestran las curvas calculadas en su momento para el barbo común.

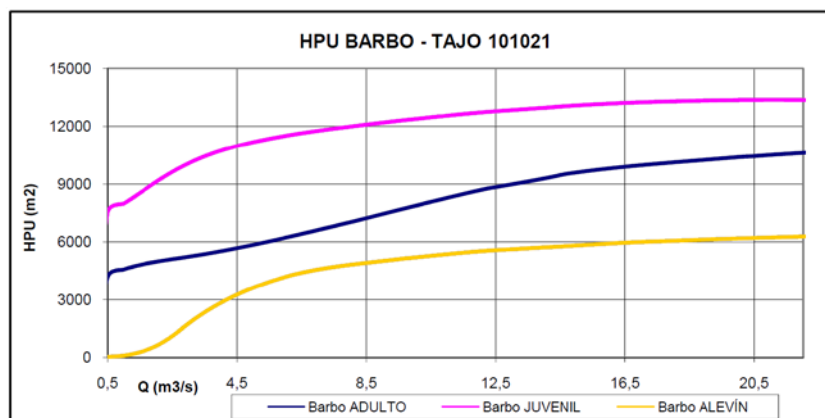


Figura 6.24. Curvas de disponibilidad de hábitat en la masa 0101021 Aranjuez para el barbo común, según modelación de hábitat realizada en el PHT 2009.

A partir de los gráficos publicados por CHT se han estimado las tablas de los valores de caudal y superficie de hábitat de las tres curvas y se ha procedido a calcular las curvas ponderadas. Los resultados se presentan en la figura 6.25, que muestra las curvas de hábitat potencial útil en función del caudal para barbo adulto, barbo juvenil y barbo alevín, junto con las curvas ponderadas correspondientes a periodo húmedo y seco. Ninguna de estas curvas presenta un máximo aparente en el rango de caudales analizado, que supera ligeramente los 20 m³/s.

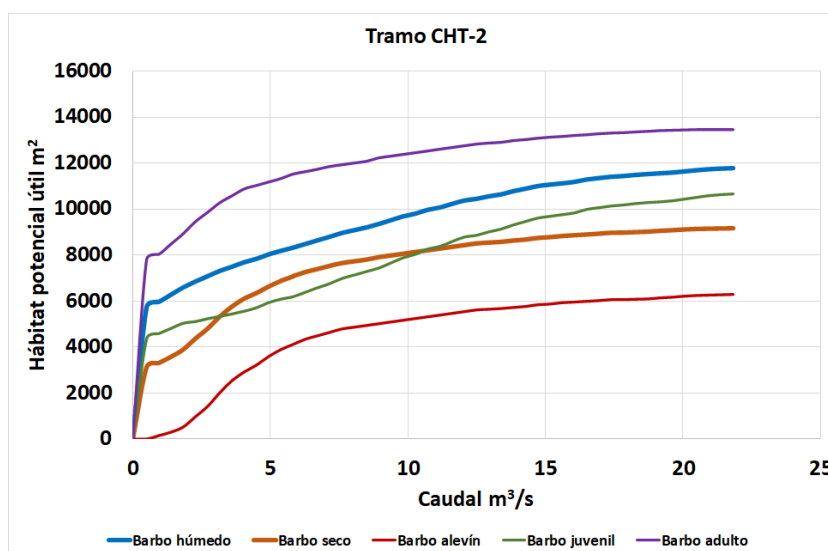


Figura 6.25. Curvas de disponibilidad de hábitat en el tramo CHT-2.

A partir de las curvas de hábitat se han calculado las curvas de porcentaje de hábitat potencial útil que se obtienen al estimar que el 100% de hábitat potencial útil corresponde al percentil 25% de las distintas series de caudales consideradas. Los resultados para el caso de análisis único se presentan en la figura 6.26. En la figura se muestran las curvas que corresponden al 100% de hábitat potencial útil determinado por el percentil 25% de la distribución de caudales del nuevo modelo SIMPA (arriba a la izquierda), la restitución de la serie de la estación de aforo EM-3009 (arriba a la derecha) y la serie ajustada de SIMPA (abajo). Sobre las curvas se han marcado los valores de caudal que corresponden al 100%, 80%, 50% y 30% del hábitat potencial útil en la curva del estadio más determinante, que resulta ser el barbo alevín en algunos casos y el barbo juvenil en otros. Al comparar este análisis con el presentado en la figura 6.3, que seguía exactamente la metodología empleada en el PHT 2009, llama la atención que, en aquel caso, no se tuvieron en cuenta los estadios alevín y juvenil del barbo, porque las especies más restrictivas fueron el cacho adulto y el barbo adulto.

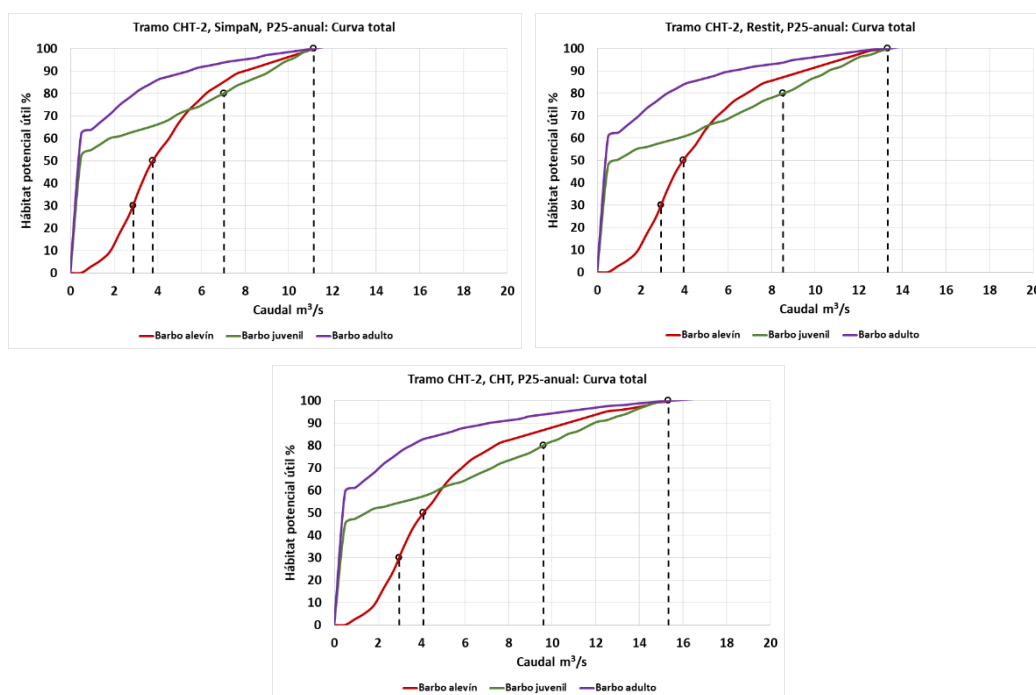


Figura 6.26. Curvas de % de hábitat potencial útil en el tramo CHT-2 deducidas del percentil 25% de distintas series. Arriba: valor correspondiente a SIMPA actualizado (izquierda) y restitución EM-3009 (derecha). Abajo: SIMPA modificado por CHT.

Los resultados del análisis por periodos se presentan en la figura 6.27. En la columna de la izquierda de la figura se muestran las curvas que corresponden al 100% de hábitat potencial útil determinado por el percentil 25% de la distribución de caudales en los meses de verano y otoño proporcionada por las tres series disponibles. Las curvas consideradas son las correspondientes al periodo seco: curva ponderada, alevín y adulto. En la columna de la derecha se muestran los resultados en el periodo húmedo, en el que los percentiles se calculan sobre los meses de invierno y primavera y las curvas consideradas son las correspondientes al periodo húmedo: ponderada, juvenil y adulto. Sobre las curvas se han marcado los valores de caudal que corresponden al 100%, 80%,

50% y 30% del hábitat potencial útil en la curva del estadio más determinante, que resulta ser el barbo alevín en el periodo seco y el juvenil en el periodo húmedo.

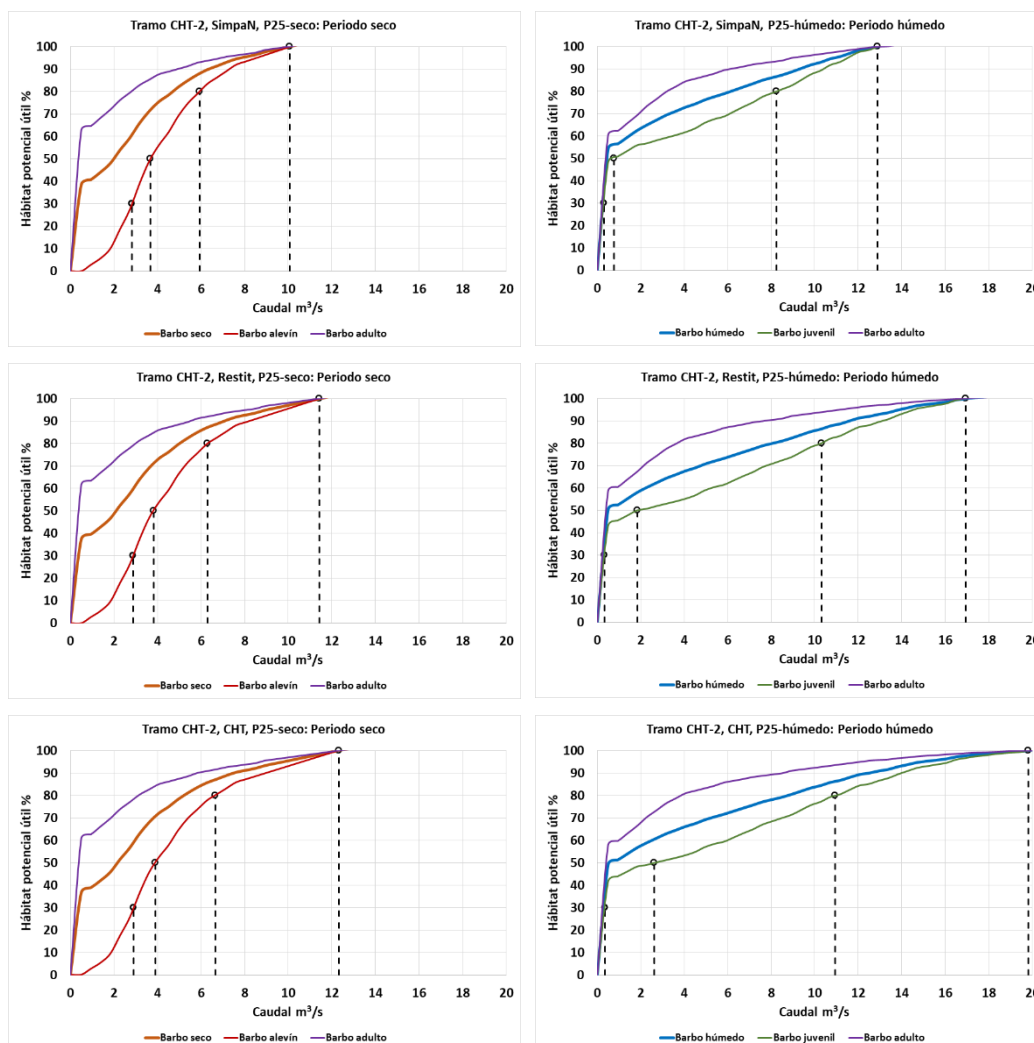


Figura 6.27. Curvas de % de hábitat potencial útil en el tramo CHT-2 para los periodos seco (izquierda) y húmedo (derecha). Series de SIMPA actualizado (arriba), restitución EM-3009 (centro) y SIMPA modificado por CHT (abajo).

Los valores que resultan del cálculo en los nueve casos se presentan en la Tabla 6.16. Al comparar esta tabla con la tabla 6.2, que presenta los resultados del cálculo en el tramo de Aranjuez con el estadio adulto de las especies más restrictivas, se comprueba que los valores obtenidos en las hipótesis coincidentes son ahora más elevados, ya que los estadios alevín y juvenil del barbo son más exigentes. Partiendo de las distribuciones de las series disponibles y adoptando el criterio del 50% del hábitat potencial útil, el caudal ecológico mínimo anual en el tramo está comprendido entre 3,79 m³/s, que resulta para la serie SIMPA actualizada y 4,09 m³/s, que resulta para la serie SIMPA modificada por CHT. Si se discrimina entre periodos seco y húmedo, los valores medios que se obtienen están comprendidos entre 2,23 m³/s, que resulta para

la serie SIMPA actualizada y 3,26 m³/s, que resulta para la serie SIMPA modificada por CHT.

Tabla 6.16: Caudales correspondientes a los porcentajes de HPU en el tramo CHT-2 estimados según los distintos cálculos realizados.

Serie de referencia	Hipótesis	30 % HPU	50 % HPU	80 % HPU	100 % HPU
		Caudal (m ³ /s)	Caudal (m ³ /s)	Caudal (m ³ /s)	Caudal (m ³ /s)
SIMPA actualizado	Anual	2.87	3.79	7.02	11.15
	Seco	2.83	3.68	5.93	10.07
	Húmedo	0.31	0.78	8.24	12.89
Restitución EM-3009	Anual	2.93	3.96	8.52	13.33
	Seco	2.88	3.82	6.30	11.44
	Húmedo	0.35	1.84	10.31	16.96
SIMPA ajustado por CHT	Anual	2.98	4.09	9.61	15.34
	Seco	2.91	3.90	6.65	12.31
	Húmedo	0.36	2.62	10.94	19.82

Análisis del tramo ICA-4

Este tramo está situado antes de confluencia del río Tajo con el río Jarama, aguas abajo de Aranjuez. El emplazamiento de este tramo está muy próximo al del tramo anterior, por lo que las series hidrológicas consideradas son las ya presentadas en la tabla 6.15. Las curvas de disponibilidad de hábitat en función del caudal se han tomado del “Estudio del régimen de caudales ecológicos en el río Tajo mediante modelación de hábitat físico. Tramo embalse de Bolarque-río Jarama”, elaborado por ICA en 2013. Las curvas que relacionan el caudal con la superficie de hábitat disponibles para el barbo común se presentan en la figura 6.28, que muestra las curvas de hábitat potencial útil en función del caudal para barbo adulto, barbo juvenil y barbo alevín, junto con las curvas ponderadas correspondientes a periodo húmedo y seco. En el rango de caudales analizado, la curva correspondiente al barbo alevín presenta un máximo para un caudal de 2 m³/s y el barbo presenta un máximo para un caudal de 20 m³/s.

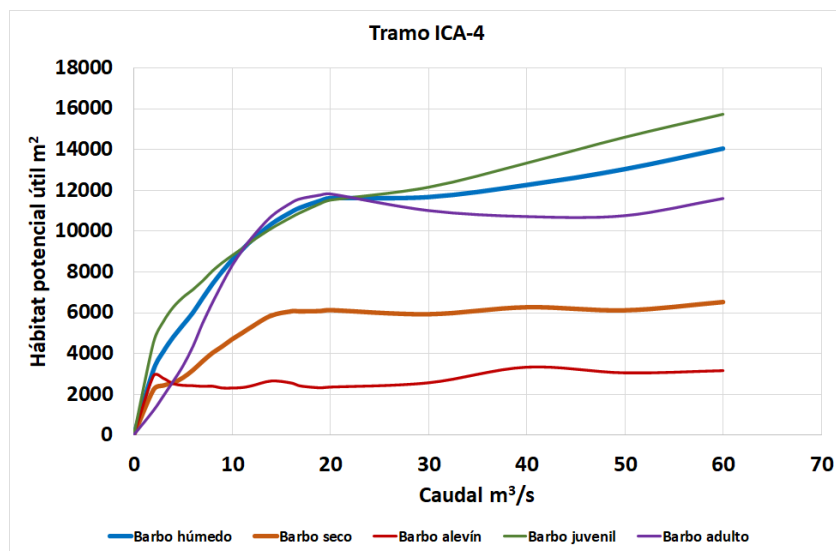


Figura 6.28. Curvas de disponibilidad de hábitat en el tramo ICA-4.

Dado que la curva del barbo adulto presenta un máximo, en este tramo se han realizado los cálculos por los dos procedimientos: tomando el máximo de la curva como el 100% del hábitat potencial útil y suponiendo que el 100% de hábitat potencial útil corresponde al percentil 25% de las distintas series de caudales consideradas. Los resultados para el caso de análisis único se presentan en la figura 6.29. En la figura se muestran las curvas que corresponden al 100% de hábitat potencial útil determinado por el máximo de la curva del barbo adulto (arriba a la izquierda), el percentil 25% de la distribución de caudales del nuevo modelo SIMPA (arriba a la derecha), la restitución de la serie de la estación de aforo EM-3009 (abajo a la izquierda) y la serie ajustada de SIMPA (abajo a la derecha). Sobre las curvas se han marcado los valores de caudal que corresponden al 100%, 80%, 50% y 30% del hábitat potencial útil en la curva del estadio más determinante, que resulta ser el barbo adulto en todos los casos.

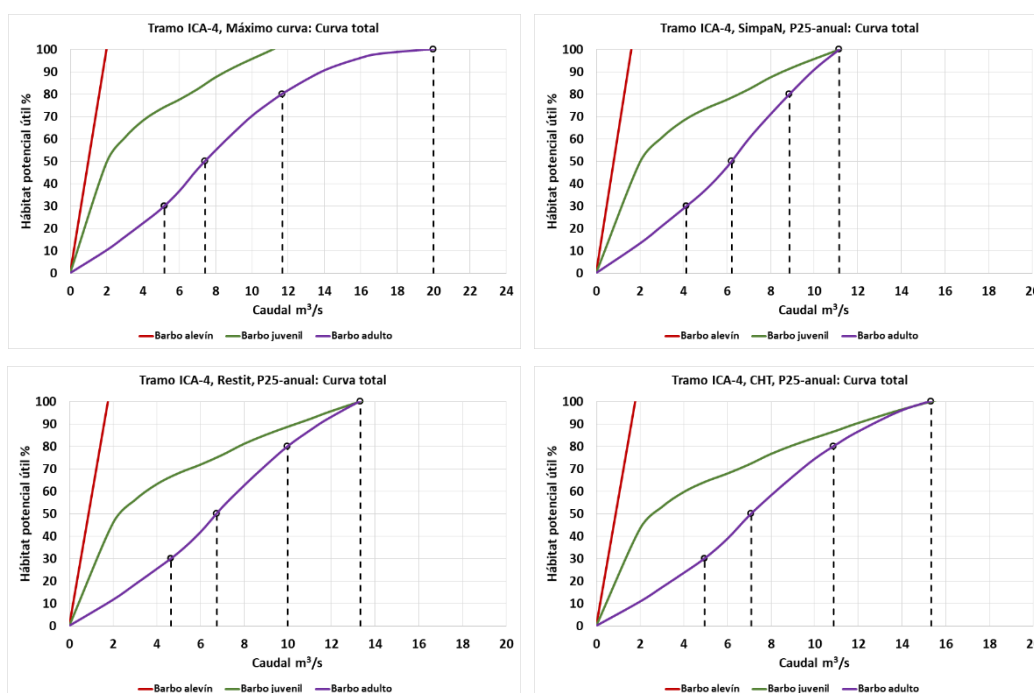


Figura 6.29. Curvas de % de hábitat potencial útil en el tramo ICA-4 deducidas del percentil 25% de distintas series. Arriba: valor correspondiente al máximo de la curva (izquierda) y SIMPA actualizado (derecha). Abajo: EM-3009 (izquierda) y SIMPA modificado por CHT (derecha).

Los resultados del análisis por periodos se presentan en la figura 6.30. En la columna de la izquierda de la figura se muestran los análisis que corresponden al periodo seco y en la columna de la derecha se muestran los análisis que corresponden al periodo húmedo. La primera fila contiene los resultados tomando como 100% del hábitat potencial útil los máximos de la curva caudal-hábitat. El resto de las filas contienen los resultados con las tres series hidrológicas disponibles. Sobre las curvas se han marcado los valores de caudal que corresponden al 100%, 80%, 50% y 30% del hábitat potencial útil en la curva del estadio más determinante, que resulta ser el barbo adulto en todos los casos.

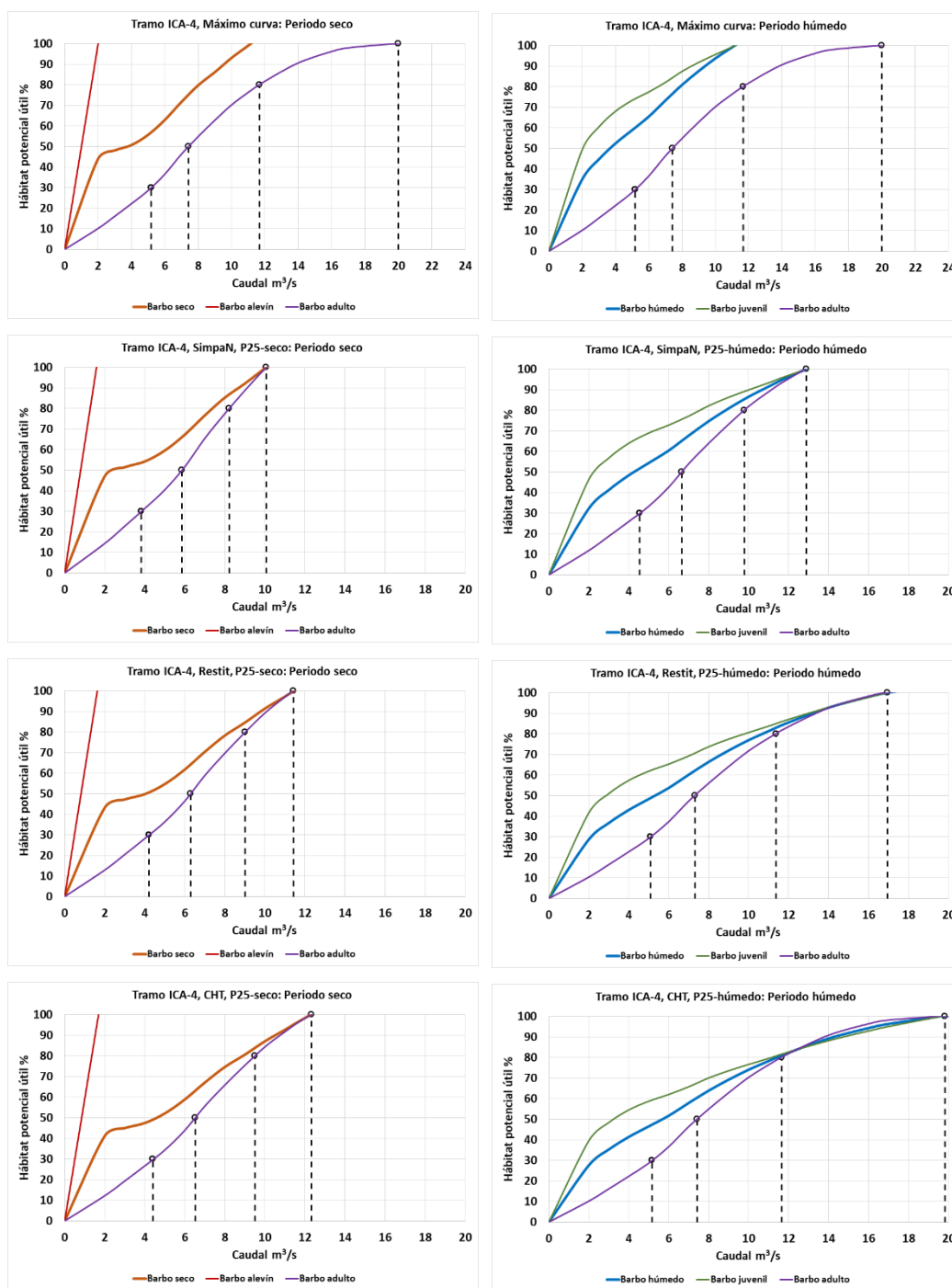


Figura 6.30. Curvas de % de hábitat potencial útil en el tramo ICA-4 para los periodos seco (izquierda) y húmedo (derecha). Máximos de la curva (arriba), series de SIMPA actualizado (centro-arriba), restitución EM-3009 (centro-abajo) y SIMPA modificado por CHT (abajo).

Los valores que resultan del cálculo en los doce casos se presentan en la tabla 6.17. El caudal ecológico estimado a partir del máximo de la curva resulta igual a 7,43 m³/s. En el caso de caudales ecológicos estimados a partir de los percentiles, el caudal ecológico mínimo anual en el tramo está comprendido entre 6,20 m³/s, que resulta para la serie SIMPA actualizada y 7,10 m³/s, que resulta para la serie SIMPA corregida por CHT. Si se discrimina entre periodos seco y húmedo, los valores medios que se obtienen

están comprendidos entre 6,24 m³/s, que resulta para la serie SIMPA actualizada y 6,97 m³/s, que resulta para la serie SIMPA corregida por CHT.

Tabla 6.17: Caudales correspondientes a los porcentajes de HPU en el tramo ICA-4 estimados según los distintos cálculos realizados.

Serie de referencia	Hipótesis	30 % HPU	50 % HPU	80 % HPU	100 % HPU
		Caudal (m ³ /s)	Caudal (m ³ /s)	Caudal (m ³ /s)	Caudal (m ³ /s)
Máximos de la curva	Anual	5.17	7.43	11.67	20.00
	Seco	5.17	7.43	11.67	20.00
	Húmedo	5.17	7.43	11.67	20.00
SIMPA actualizado	Anual	4.14	6.20	8.86	11.15
	Seco	3.83	5.85	8.21	10.07
	Húmedo	4.55	6.64	9.78	12.89
Restitución EM-3009	Anual	4.64	6.74	9.99	13.33
	Seco	4.22	6.28	9.02	11.44
	Húmedo	5.10	7.31	11.37	16.96
SIMPA ajustado por CHT	Anual	4.95	7.10	10.86	15.34
	Seco	4.43	6.51	9.50	12.31
	Húmedo	5.17	7.42	11.66	19.82

Propuesta de caudales ecológicos mínimos

Resumen de resultados

La tabla 6.18 resume los resultados obtenidos en los seis tramos analizados (uno de ellos en dos ocasiones). En ella figura el valor del caudal ecológico, estimado como el que proporciona el 50% del hábitat potencial útil, en cada una de las hipótesis de cálculo. Los valores obtenidos a partir del máximo de las curvas hábitat-caudal son más elevados que los obtenidos tomando como 100% del hábitat potencial útil el correspondiente al percentil 25%. En el caso de los tramos ICA-1b e ICA-3, estos resultados deben descartarse, porque el máximo de la curva se produjo para caudales de 35 m³/s y 40 m³/s, respectivamente. Estos caudales son muy elevados y no resulta razonable referir el 100% del hábitat potencial a unas condiciones hidrológicas que sólo se producen ocasionalmente. Por este motivo, estos caudales se han sombreado en gris en la tabla.

Tabla 6.18: Resumen de caudales ecológicos mínimos obtenidos en los tramos analizados con las tres series disponibles.

Tramo	Máx Curva	SIMPA actualizado			Restitución EM-3009			SIMPA ajustado por CHT		
		Anual	Seco	Húm.	Anual	Seco	Húm.	Anual	Seco	Húm.
CHT-1	-	5.31	2.84	6.29	6.32	3.04	7.81	7.21	3.19	8.88
ICA-1	-	4.84	4.53	4.78	5.30	4.87	7.32	6.20	5.04	9.21
ICA-1b	7.69	5.32	4.88	6.03	6.05	5.40	6.91	6.73	5.81	7.19
ICA-2	-	3.56	3.48	3.67	3.68	3.58	3.85	3.76	3.64	4.16
ICA-3	11.59	4.79	4.39	4.80	5.55	4.90	6.95	6.33	5.25	8.46
CHT-2	-	3.79	3.68	0.78	3.96	3.82	1.84	4.09	3.90	2.62
ICA-4	7.43	6.20	5.85	6.64	6.74	6.28	7.31	7.10	6.51	7.42
Promedio	7.43	4.83	4.23	4.71	5.37	4.56	6.00	5.92	4.76	6.85

Descontando esos dos valores, los caudales ecológicos anuales oscilan entre 3,56 m³/s y 7,43 m³/s. El valor medio de todos los resultados anuales obtenidos para el tramo es 5,81 m³/s. En el caso del periodo seco, el rango es de 2,84 m³/s y 6,51 m³/s, con un promedio de 4,52 m³/s. Para el periodo húmedo, se han obtenido caudales entre 0,78 m³/s y 9,21 m³/s, con un promedio de 5,85 m³/s.

Los resultados que corresponden a los cálculos realizados con las distintas series disponibles se presentan esquemáticamente en la figura 6.31. La figura muestra los valores que resultan en el cálculo en los distintos tramos considerando que el caudal ecológico corresponde al 50% del hábitat potencial útil. Se representan los valores obtenidos a partir del percentil 25% de las series disponibles y los correspondientes al máximo de la curva hábitat caudal (como una cruz gris). En el caso de tramo ICA-1, se han representado los valores mayores de los dos análisis disponibles. Los resultados en los puntos de cálculo se han extendido a lo largo del río en función de la distancia al embalse de Bolarque. En todos los puntos del río se ha considerado que el valor del caudal ecológico es el correspondiente al punto de cálculo más próximo.

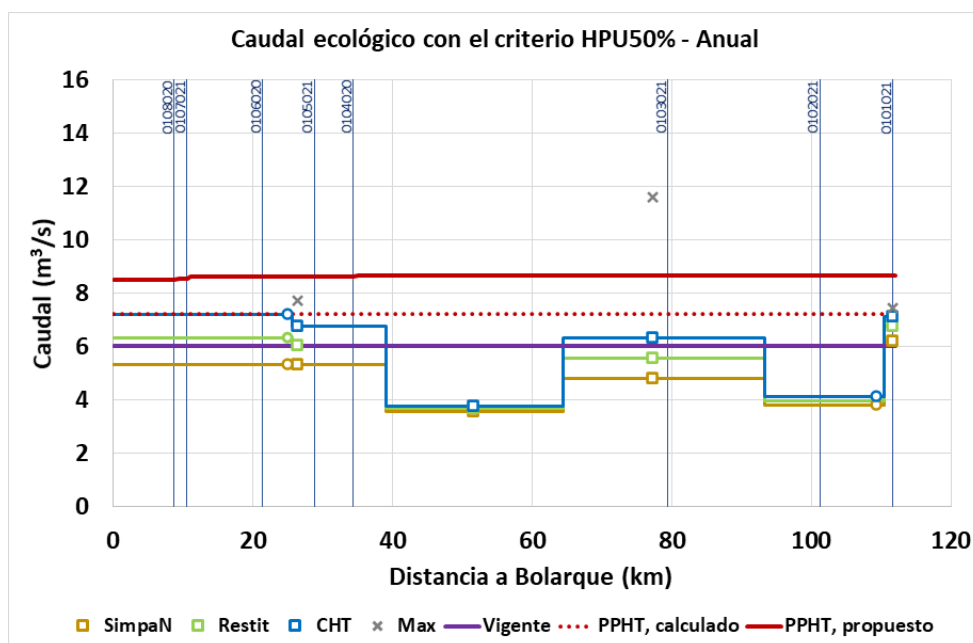


Figura 6.31. Representación de los resultados de cálculo de caudal ecológico a lo largo del tramo Bolarque-Aranjuez.

Para poder disponer de una referencia, se han representado los extremos de aguas abajo de las masas de agua mediante barras verticales de color azul. También se han representado en el gráfico los valores de caudal mínimo actualmente vigente (6 m³/s, representado en color violeta), el valor de caudal ecológico medio anual propuesto en el Proyecto de Plan Hidrológico del Tajo (variable a lo largo del tramo, representado en color rojo) y el valor de cálculo que sirvió de base para la propuesta (7,2 m³/s, representado mediante la línea roja de puntos).

El caudal ecológico propuesto en el PPHT es muy superior a todos los resultados de cálculo que se han obtenido, exceptuando el correspondiente al máximo de la curva

hábitat-caudal en el tramo ICA-3, que, como ya se ha manifestado se trata de un resultado que no se debe tomar en consideración. En conjunto, el caudal propuesto en el PPHT es superior a 23 de los 24 resultados obtenidos y supera en un 49% el valor medio de los resultados ($8,65 \text{ m}^3/\text{s}$ frente a $5,81 \text{ m}^3/\text{s}$). El valor de caudal mínimo actualmente vigente es mucho más concordante con los resultados obtenidos. Es superado por 12 de los 24 resultados obtenidos y es un 3,2% superior al valor medio ($6 \text{ m}^3/\text{s}$ frente a $5,81 \text{ m}^3/\text{s}$).

Las tres series disponibles dan resultados diferentes en Almoguera y Estremera. Resulta muy llamativo que el valor que se obtiene en el cálculo del caudal ecológico con la serie de SIMPA corregida por CHT es superior al que se obtiene con la serie restituida en Almoguera y con la serie de SIMPA actualizado. En teoría, la corrección del modelo SIMPA se debía realizar para aproximar los resultados de SIMPA a las estimaciones de la restitución. Esto sugiere que el procedimiento empleado en la corrección de las aportaciones de SIMPA no presenta un buen comportamiento con el percentil 25% de la serie, porque, los caudales bajos se han corregido en exceso.

Los resultados correspondientes a los periodos seco y húmedo se presentan en la figura 6.32. En este caso, se ha representado como caudal ecológico mínimo propuesto en el PPHT la media de los trimestres correspondientes a cada periodo. Los valores propuestos por el PPHT son superiores a los resultados del cálculo en los dos periodos. En el caso del caudal mínimo actualmente vigente, es superior a casi todos los valores obtenidos en el cálculo en el periodo seco. En el caso del periodo húmedo, el caudal vigente es superado por 14 de los 24 resultados obtenidos.

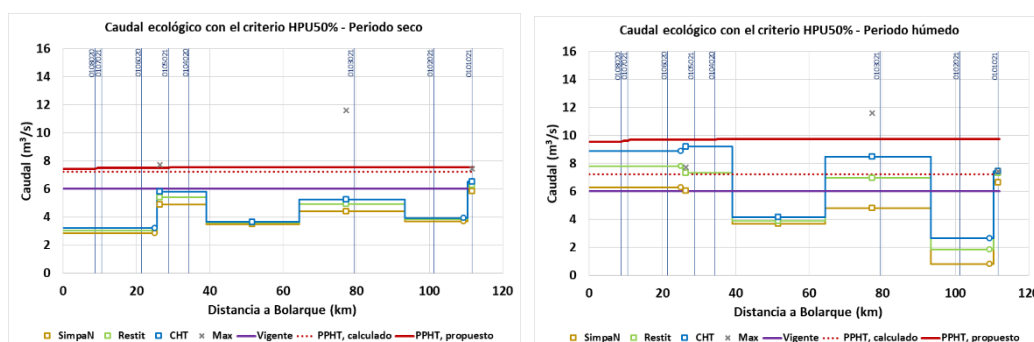


Figura 6.32. Representación de los resultados de cálculo de caudal ecológico a lo largo del tramo Bolarque-Aranjuez. Izquierda: periodo seco. Derecha: periodo húmedo.

Análisis de la disponibilidad de hábitat

A partir de los cálculos realizados, se ha obtenido la disponibilidad de hábitat en función del caudal para los distintos emplazamientos estudiados. Dado que la finalidad última de la implantación de caudales ecológicos mínimos es garantizar la suficiente disponibilidad de hábitat para el desarrollo de las especies más restrictivas de las masas de agua, tiene sentido analizar la disponibilidad de hábitat que se produce con las distintas opciones de caudal ecológico mínimo planteadas.

En las figuras 6.33, 6.34 y 6.35 se presentan la relación existente entre el caudal circulante en el tramo Bolarque-Aranjuez y el hábitat disponible en cada uno de los

tramos analizados, según los diferentes criterios empleados. En la figura 6.33 se muestra el resultado de los cálculos realizados con las series hidrológicas proporcionadas por el modelo SIMPA actualizado. La figura 6.34 corresponde al caso de las series hidrológicas deducidas de la restitución realizada en la EM-3009. Finalmente, la figura 6.35 corresponde a las series hidrológicas generadas por la CHT mediante el ajuste del modelo SIMPA actualizado.

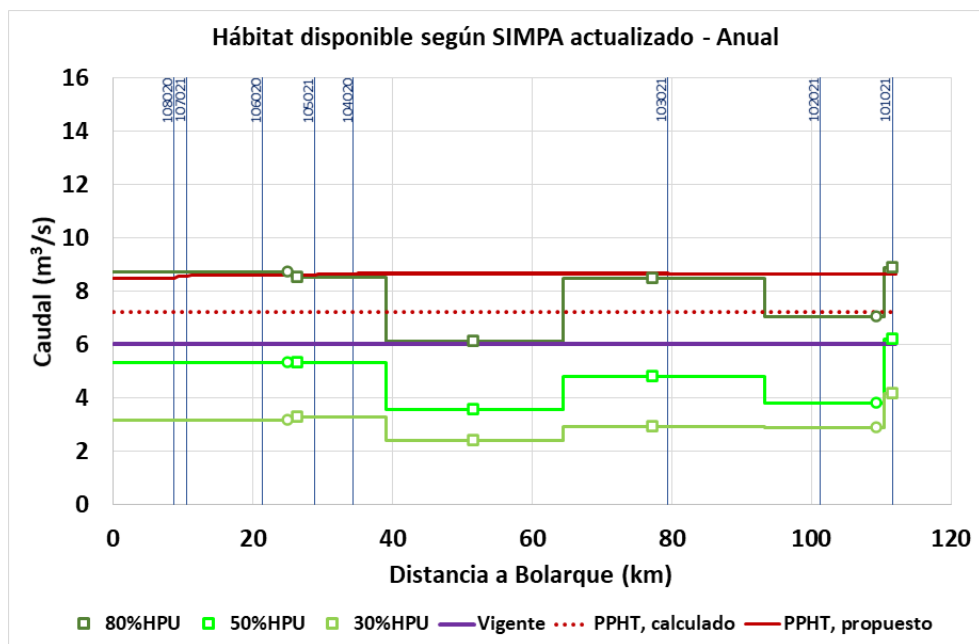


Figura 6.33. Disponibilidad de hábitat en función del caudal en el tramo Bolarque-Aranjuez según los cálculos realizados con las series hidrológicas del modelo SIMPA actualizado.

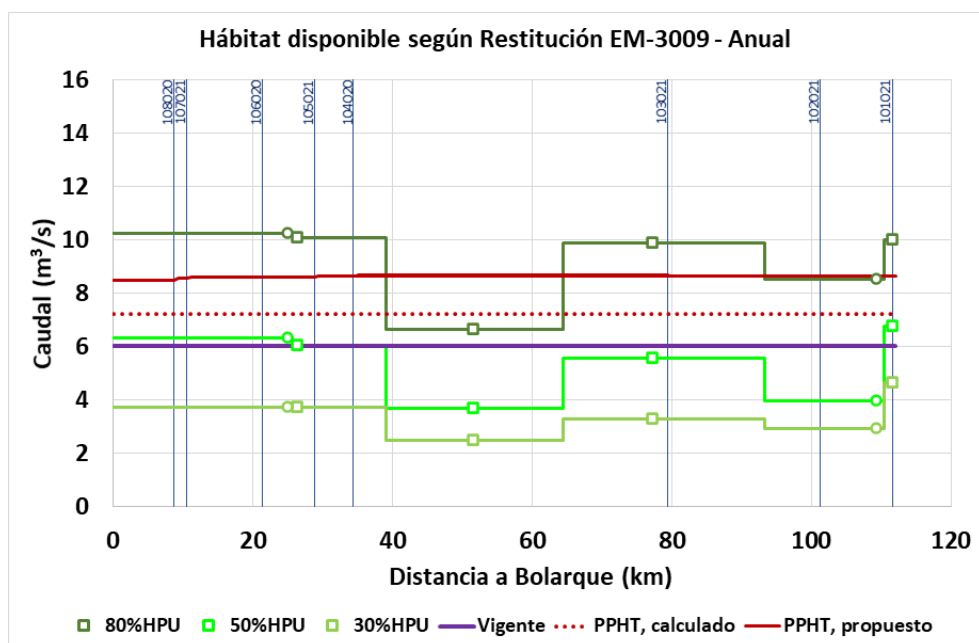


Figura 6.34. Disponibilidad de hábitat en función del caudal en el tramo Bolarque-Aranjuez según los cálculos realizados con las series hidrológicas obtenidas a partir de la restitución realizada en la EM-3009.

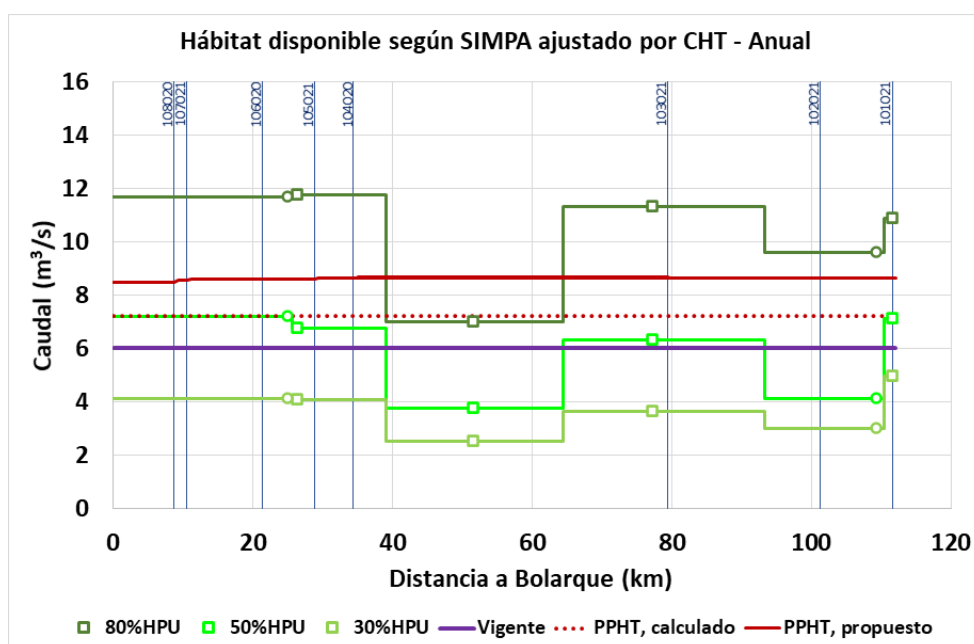


Figura 6.35. Disponibilidad de hábitat en función del caudal en el tramo Bolarque-Aranjuez según los cálculos realizados con las series hidrológicas del modelo SIMPA ajustado por CHT.

Las figuras representan los valores de caudal que corresponden al 30%, 50% y 80% del hábitat potencial útil. Estos son los valores característicos que establece la Instrucción de Planificación Hidrológica. Con carácter general, establece una horquilla para fijar el caudal ecológico mínimo entre el 50% y el 80% del HPU. En el caso de masas muy modificadas, esta horquilla se amplía al rango 30%-80% del HPU. Como referencia, la CHT estableció el criterio del 50% del HPU para proponer el caudal ecológico mínimo en el eje del Tajo. En las figuras también se han incluido los valores de caudal mínimo actualmente vigente y el valor medio anual del caudal ecológico mínimo propuesto en el PPHT.

En las tres figuras puede apreciarse que el caudal ecológico propuesto en el PPHT supera con creces el criterio establecido de proporcionar el 50% del HPU, incluso en el tramo CHT-1, que se empleó como referencia. Esto es debido a la aplicación del factor de variación, que incrementa los valores que se obtuvieron en el cálculo en Almoguera para el 50% del HPU. También se comprueba que en varias ocasiones se supera el límite del 80% del HPU que establece la IPH para fijar el caudal ecológico. El hábitat disponible proporcionado por el caudal mínimo actualmente vigente depende de la serie hidrológica que se considere. En el caso de la serie de SIMPA actualizado, el hábitat disponible está comprendido entre el 50% y el 80% en todo el tramo. Si se considera la serie hidrológica obtenida a partir de la restitución en la EM-3009, hay dos puntos en los que no se alcanza el 50% del HPU, pero queda muy próximo. En el caso de la serie de SIMPA modificado por CHT, el hábitat disponible está comprendido entre el 40% HPU y el 60% HPU.

En las tablas 6.19, 6.20 y 6.21 se presentan los valores numéricos que se obtienen al interpolar los valores planteados de caudal ecológico en las curvas hábitat-caudal de los distintos estadios de las especies más restrictivas de cada tramo. La tabla 6.19



presenta el hábitat disponible para el alevín, la tabla 6.20 el hábitat disponible para el juvenil y la tabla 6.21 el hábitat disponible para el adulto. En las tablas se incluyen las distintas hipótesis de cálculo para el caso del caudal ecológico mínimo actualmente vigente (Act) y para el caudal ecológico propuesto en el PPHT para los cuatro trimestres (Ot: otoño, Inv: invierno, Pri: primavera, Ver: verano).

Tabla 6.19: Porcentaje de hábitat potencial útil que proporcionan el caudal mínimo actualmente vigente (Act) y el caudal ecológico mínimo propuesto en el PPHT en los distintos trimestres (Ot: otoño, Inv: invierno, Pri: primavera, Ver: verano) para el estadio alevín de la especie más restrictiva.

Tramo	M C	SIMPA actualizado					Restitución EM-3009					SIMPA ajustado por CHT				
		Act	Ot	Inv	Pri	Ver	Act	Ot	Inv	Pri	Ver	Act	Ot	Inv	Pri	Ver
CHT-1		85	94	100	97	90	81	89	95	93	86	79	87	93	90	83
ICA-1		66	75	96	88	68	58	67	85	79	61	52	59	75	69	53
ICA-1b	83	84	89	99	98	87	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
ICA-2		100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
ICA-3	54	73	90	95	94	84	72	89	94	92	83	68	84	89	88	79
CHT-2		78	90	98	94	86	74	85	93	89	82	71	82	89	86	79
ICA-4	100	103	102	99	99	102	94	93	90	90	93	94	93	89	89	92
Promedio	100	84	92	98	96	88	83	89	94	92	86	80	86	91	89	84

Tabla 6.20: Porcentaje de hábitat potencial útil que proporcionan el caudal mínimo actualmente vigente (Act) y el caudal ecológico mínimo propuesto en el PPHT en los distintos trimestres (Ot: otoño, Inv: invierno, Pri: primavera, Ver: verano) para el estadio juvenil de la especie más restrictiva.

Tramo	M C	SIMPA actualizado					Restitución EM-3009					SIMPA ajustado por CHT				
		Act	Ot	Inv	Pri	Ver	Act	Ot	Inv	Pri	Ver	Act	Ot	Inv	Pri	Ver
CHT-1		56	73	95	83	66	48	62	81	71	57	42	55	72	63	50
ICA-1		72	84	97	91	80	66	78	89	84	74	61	72	83	77	68
ICA-1b	67	78	88	98	94	84	74	84	93	89	80	70	80	89	85	76
ICA-2		87	95	99	98	93	86	94	98	97	92	86	94	98	96	92
ICA-3	50	70	83	96	89	78	63	75	87	80	71	59	69	80	74	66
CHT-2		75	85	97	90	81	69	78	89	82	74	64	73	83	77	70
ICA-4	62	78	87	97	92	83	72	81	90	86	77	68	76	85	81	73
Promedio	62	74	85	97	91	81	68	79	90	84	75	64	74	84	79	71

Tabla 6.21: Porcentaje de hábitat potencial útil que proporcionan el caudal mínimo actualmente vigente (Act) y el caudal ecológico mínimo propuesto en el PPHT en los distintos trimestres (Ot: otoño, Inv: invierno, Pri: primavera, Ver: verano) para el estadio adulto de la especie más restrictiva.

Tramo	M C	SIMPA actualizado					Restitución EM-3009					SIMPA ajustado por CHT				
		Act	Ot	Inv	Pri	Ver	Act	Ot	Inv	Pri	Ver	Act	Ot	Inv	Pri	Ver
CHT-1		77	85	97	90	82	72	79	90	84	77	67	74	84	79	71
ICA-1		65	76	95	85	72	56	66	82	73	62	49	57	72	64	54
ICA-1b	39	56	74	95	84	68	50	65	84	74	60	45	59	75	67	53
ICA-2		79	89	98	94	86	76	86	95	91	83	75	84	92	88	81
ICA-3	29	61	76	95	85	71	53	67	84	75	63	48	60	75	66	56
CHT-2		92	95	99	97	94	90	93	97	95	92	88	91	95	93	90
ICA-4	37	47	70	94	82	62	42	62	83	72	55	39	57	77	67	51
Promedio	37	68	81	96	88	77	63	74	88	81	70	58	69	81	75	65

Para facilitar la interpretación, se han marcado en verde las combinaciones en las que se supera el 80% de hábitat disponible, que es el límite superior que marca la IPH para fijar el caudal ecológico por métodos hidrobiológicos. También se han marcado en rojo las combinaciones en las que no se alcanza el 50% del HPU, que es el criterio establecido por la CHT para fijar el caudal ecológico en el eje del Tajo.

En el caso de los caudales ecológicos mínimos propuestos en el PPHT, en ningún caso se baja del 50% de hábitat potencial útil. Sin embargo, el límite superior del 80% se supera con mucha frecuencia. En concreto, el 87% de los casos para el alevín, en el 63% de los casos para el juvenil y en el 51% de los casos para el adulto. El estadio más restrictivo es el adulto, para el que se supera el umbral del 80% en el 70% de los casos analizados con el modelo SIMPA actualizado, en el 50% de los casos analizados con las series obtenidas a partir de la restitución en EM-3009 y en el 32% de los casos analizados con las series del modelo SIMPA ajustado por CHT. Este análisis indica claramente que los caudales ecológicos fijados en el PPHT podrían reducirse sin perjudicar la disponibilidad de hábitat de las especies, ya que los valores propuestos suponen una disponibilidad por encima del valor máximo establecido por la IPH en muchas ocasiones.

En el caso del caudal ecológico mínimo actualmente vigente, se obtiene que se superaría el 50% del hábitat potencial útil en el 100% de los casos analizados para el estadio alevín, en el 90% de los casos analizados para el estadio juvenil y en el 67% de los casos analizados para el estadio adulto. En todos los casos en los que no se alcanza el 50% del HPU, sí se supera el 30%, que es el límite inferior establecido por la IPH para masas muy modificadas, ya que el caso correspondiente a la hipótesis de cálculo del máximo de la curva en el tramo ICA-3, donde la disponibilidad de hábitat sería del 29%, no debe ser tenido en cuenta porque el máximo de la curva hábitat-caudal se produce para caudales muy poco frecuentes.

Análisis de sensibilidad a dentro de la horquilla planteada por la IPH

En los cálculos realizados en este informe se ha aplicado el criterio adoptado en el PPHT para el eje del Tajo de considerar como caudal ecológico el que proporciona el 50% del hábitat potencial útil. Sin embargo, dado que las masas de agua del río Tajo comprendidas entre Bolarque y Aranjuez se consideran masas de agua muy alteradas hidrológicamente, la IPH autoriza a rebajar el umbral utilizado para fijar el régimen de caudales mínimos hasta el 30% del hábitat potencial útil máximo. El propio PPHT ha adoptado este criterio para la masa de agua estratégica 0704020 Embalse de Rosarito, que es la única masa de agua fuera del eje del Tajo para la que se han fijado caudales ecológicos mínimos a partir de métodos hidrobiológicos.

Si se aplica este criterio, se obtienen los caudales ecológicos que se presentan en la tabla 6.22. Los caudales ecológicos anuales oscilan entre 2,39 m³/s y 4,95 m³/s. El valor medio de todos los resultados anuales obtenidos para el tramo es 3,44 m³/s. En el caso del periodo seco, el rango es de 1,66 m³/s y 4,43 m³/s, con un promedio de 2,94 m³/s. Para el periodo húmedo, se han obtenido caudales entre 0,31 m³/s y 5,17 m³/s, con un promedio de 3,34 m³/s. El valor promedio que se obtiene en el tramo para las series más fiables, basadas en la restitución a régimen natural en la estación de ROEA EM-3009, es de 3,45 m³/s, un 38% inferior al correspondiente al 50% del hábitat potencial útil. Estos valores podrían reducirse aún más si se considerase, como también



autoriza la IPH, que el máximo del hábitat potencial útil corresponde al percentil 10% de la serie, en lugar del valor adoptado del 25%.

Tabla 6.22: Resumen de caudales ecológicos mínimos obtenidos en los tramos analizados con las tres series disponibles y el criterio 30%HPU.

Tramo	Máx Curva	SIMPA actualizado			Restitución EM-3009			SIMPA ajustado por CHT		
		Anual	Seco	Húm.	Anual	Seco	Húm.	Anual	Seco	Húm.
CHT-1	-	3.14	1.66	3.69	3.71	1.82	4.39	4.10	1.92	5.13
ICA-1	-	3.15	2.94	2.54	3.47	3.17	3.22	3.87	3.29	3.94
ICA-1b	4.64	3.27	3.02	3.68	3.69	3.32	4.19	4.09	3.56	4.35
ICA-2	-	2.39	2.35	2.45	2.46	2.40	2.55	2.50	2.43	2.70
ICA-3	6.18	2.92	2.71	2.92	3.28	2.98	3.95	3.64	3.14	4.59
CHT-2	-	2.87	2.83	0.31	2.93	2.88	0.35	2.98	2.91	0.36
ICA-4	5.17	4.14	3.83	4.55	4.64	4.22	5.10	4.95	4.43	5.17
Promedio	5.17	3.13	2.76	2.88	3.45	2.97	3.39	3.73	3.10	3.75

Valores de caudal ecológico propuestos en este estudio

Se han presentado cálculos de caudales ecológicos mínimos por métodos hidrobiológicos en seis emplazamientos entre Bolarque y Aranjuez, realizados a partir de tres series hidrológicas. De las tres series, se considera que la que mejor representa el régimen hidrológico del tramo es la restitución a régimen natural realizada por CHT a partir de los caudales registrados en la estación de aforo de la ROEA EM-3009. Los motivos que justifican esta elección son los siguientes:

- Las series del modelo SIMPA actualizado, que han servido de base para el presente ciclo de planificación en todas las demarcaciones, son el resultado de un trabajo excelente realizado por una institución muy competente, como es el Centro de Estudios Hidrográficos. Sin embargo, la CHT ha cuestionado su calidad, puesto que ha decidido ajustarlas a partir de una restitución al régimen natural realizada en 132 puntos distribuidos por toda la cuenca.
- Según CHT (Apéndice 2 “Metodología ajuste SIMPA” del Anejo 2, “Inventario de recursos hídricos”) las series restituidas basadas en datos reales proporcionan mejor aproximación a la realidad de la cuenca en puntos concretos. La restitución está disponible en un punto muy próximo al punto de cálculo.
- Aunque, en teoría, las series de SIMPA ajustadas por CHT a partir de la restitución a régimen natural deberían mejorar ambas fuentes de datos, se ha constatado que en el caso particular de Almoguera no ha sucedido así, al menos en lo que se refiere al percentil 25%. El procedimiento de ajuste tiene como objetivo aproximar los resultados de SIMPA a las observaciones. Sin embargo, el percentil 25% en Almoguera (14,84 m³/s) es superior tanto al valor estimado por SIMPA (10,95 m³/s) como al correspondiente a la restitución realizada (12,85 m³/s). Lo lógico sería que el valor ajustado estuviera comprendido entre los dos valores de partida.

A la vista de los resultados obtenidos en los cálculos realizados, se realiza la siguiente propuesta de caudales ecológicos mínimos para el eje del Tajo.

- En el caso de respetar estrictamente la metodología y los criterios empleados por CHT en la fijación del caudal ecológico mínimo en el eje del Tajo, el valor

adoptado debería ser el resultado obtenido en Almoguera para la serie restituida en la estación de aforo EM-3009, que es 6,26 m³/s.

- En el caso de tener en cuenta todos los cálculos realizados a lo largo del tramo, el valor adoptado debería ser la media de los caudales obtenidos en los seis tramos analizados para la serie restituida en la estación de aforo EM-3009, que es igual a 5,32 m³/s.

Los resultados individuales obtenidos están comprendidos entre 3,56 m³/s (tramo ICA-2 con el modelo SIMPA actualizado) y 7,43 m³/s (tramo ICA-4 con el máximo de la curva de hábitat-caudal). Si se consideran también los caudales medios anuales correspondientes al periodo seco y periodo húmedo, el mínimo corresponde al tramo CHT-2 con el modelo SIMPA actualizado, con 2,23 m³/s. La media de los 43 valores obtenidos es 5,33 m³/s, valor muy próximo al resultado que proporciona la serie restituida en la estación de aforo EM-3009. La desviación típica de los datos es de 1,37 m³/s, lo que permite establecer una horquilla razonable entre 3,97 m³/s y 6,70 m³/s.

Los resultados se presentan gráficamente en la figura 6.36, que muestra el ajuste a la distribución normal de los 43 valores de caudal ecológico obtenidos en el cálculo. También se han representado mediante bandas verticales los valores de caudal mínimo vigente (línea violeta), el caudal ecológico propuesto en el PPHT (línea roja), el resultado del cálculo (línea roja de puntos) y el valor propuesto en este estudio (línea verde) junto con el intervalo de confianza obtenido (líneas verdes discontinuas). El gráfico de la izquierda muestra la función de distribución y el gráfico de la derecha muestra la función de densidad de probabilidad.

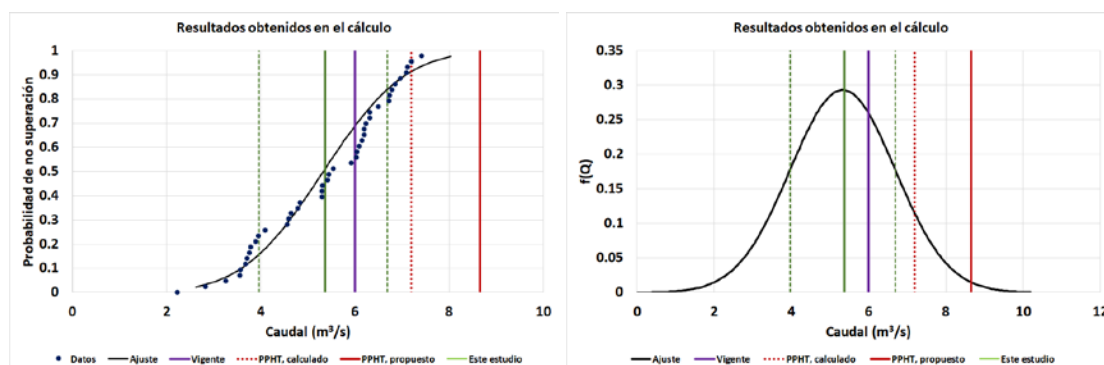


Figura 6.36. Ajuste a la distribución normal de los resultados de caudal ecológico obtenidos en el cálculo.

Aunque el ajuste no es bueno, la figura permite comprobar la relación entre los resultados obtenidos en este estudio y los valores de caudal ecológico planteados. Puede comprobarse que el valor adoptado en el PPHT es muy superior a todos los resultados obtenidos y el valor calculado por CHT que se tomó como base para fijar el caudal ecológico sólo es superado por un único resultado, el correspondiente al tramo ICA-4 con el máximo de la curva de hábitat-caudal. No existe ningún motivo para incrementar el valor de caudal mínimo actualmente vigente (6 m³/s) ya que es superior al valor medio obtenido.



7. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Resumen de resultados

En este trabajo se han revisado en profundidad los estudios técnicos y los criterios que han servido de base para la fijación del caudal ecológico mínimo en el Proyecto de Plan Hidrológico del Tajo (PPHT) para el eje del río Tajo entre Bolarque y Aranjuez. Los valores de caudal ecológico finalmente adoptados se basan en los cálculos de simulación de hábitat que se realizaron con ocasión de la redacción del Plan Hidrológico del Tajo 2009-2015. Se analizaron dos tramos de río, en Almoguera y Aranjuez. Se siguió el criterio de proporcionar el 50% del hábitat potencial útil. Dado que las curvas de hábitat disponible no presentaban un máximo, se tomó como criterio para definir el 100% de hábitat potencial útil el correspondiente al percentil 25% de la distribución de caudales disponible en ese momento. A la vista de las discrepancias importantes entre los resultados obtenidos en los dos tramos, se adoptó para Aranjuez el valor obtenido en Almoguera (7,28 m³/s). A este resultado, obtenido aplicando los métodos previstos en la instrucción de Planificación Hidrológica (IPH), se le aplicó el factor de variación, que es un coeficiente de mayoración que no está previsto en la IPH y que supone un incremento del caudal ecológico mínimo en un 20%.

A continuación, se resumen los principales resultados del análisis realizado.

Caudales ecológicos mínimos en los planes hidrológicos anteriores

Se han revisado los cálculos de caudales ecológicos mínimos y los valores finalmente fijados en el contenido normativo de los tres planes hidrológicos aprobados en la Confederación Hidrográfica del Tajo hasta la fecha. En estos planes hidrológicos, sólo se han fijado caudales ecológicos mínimos para las masas de agua consideradas estratégicas. En el Plan de 1998 no estaba vigente la transposición de la Directiva Marco del Agua, y las demandas ambientales se fijaron con un cierto carácter de provisionalidad. Sin embargo, en el ciclo de planificación 2009-2015 se realizaron cálculos de caudales ecológicos mínimos por métodos hidrológicos en todas las masas de agua y por métodos de simulación de hábitat en 32 masas de agua seleccionadas por su importancia estratégica. A pesar de este esfuerzo de cálculo, los caudales ecológicos mínimos que finalmente se fijaron para las 16 masas de agua estratégicas no guardaban relación aparente con los cálculos realizados, como puede apreciarse en la figura 7.1, donde se compara el valor de caudal ecológico mínimo fijado para las masas de agua estratégicas con los resultados que proporcionaban los distintos métodos de cálculo. En el siguiente ciclo de planificación, 2015-2021, se mantuvieron los mismos valores de caudal ecológico en las 16 masas estratégicas.

En el PPHT se han adoptado los cálculos de caudal ecológico mínimo por métodos hidrobiológicos realizados para el Plan 2009, y se han revisado los cálculos por métodos hidrológicos. En el PPHT se proponen caudales ecológicos mínimos en todas las masas de agua de la cuenca. En la mayor parte de los casos, se han adoptado los resultados del cálculo por métodos hidrológicos, pero en las masas de agua estratégicas se han seguido otros criterios. En la tabla 7.1 se pueden comparar los valores propuestos de caudal ecológico mínimo en el PPHT para las masas de agua estratégicas con los fijados en los ciclos de planificación anteriores y con los que se propusieron en el Esquema Provisional de Temas Importantes (EPTI).

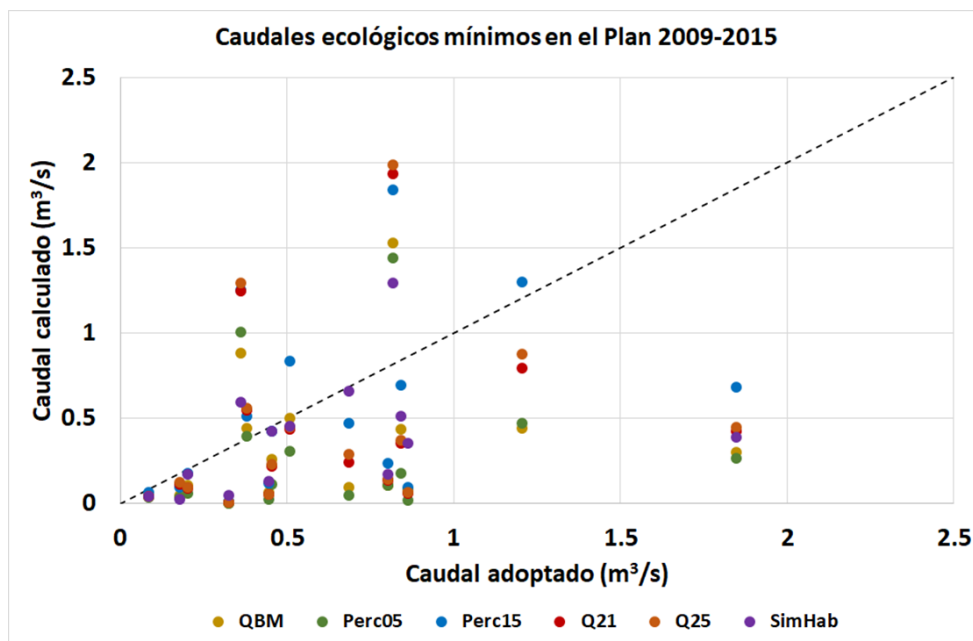


Figura 7.1. Comparación de los caudales ecológicos mínimos calculados y adoptados en el Plan 2009-2015.

Tabla 7.1: Caudales ecológicos mínimos adoptados para las masas de agua estratégicas en los distintos ciclos de planificación (m^3/s).

Masa de agua	Plan 1998	Plan 2009	Plan 2015	EPTI 2021	P.Plan 2021
0902021. R. Alagón desde E. Valdeobispo hasta R. Jerte	1.826	1.845	1.845	1.845	5.925
0501021. R. Alberche desde E. Cazalegas hasta R. Tajo	-	1.203	1.203	1.203	1.220
0802021. R. Arrago desde E. Borbollón hasta A. de Patana	0.301	0.323	0.323	0.323	0.388
0320011. R. Bornova desde E. Alcorlo hasta R. Henares	0.186	0.200	0.200	0.176	0.210
0323011. R. Cañamares desde E. Pálmaces hasta R. Henares	0.080	0.083	0.083	0.083	0.095
0145011. R. Cuervo aguas abajo de E. La Tosca	-	0.378	0.378	0.378	0.585
0134010. R. Guadiela desde E. Molino de Chíncha hasta R. Alcántud	-	0.815	0.815	0.815	1.400
0424021. R. Jarama desde E. El Vado hasta A. del Madroñal	0.297	0.453	0.453	0.453	0.603
0913010. R. Jerte desde Garganta de la Oliva hasta R. Alagón	-	0.860	0.860	0.860	3.928
0443021. R. Lozoya desde E. El Atazar hasta R. Jarama	0.883	0.840	0.840	0.840	0.868
0428021. R. Manzanares desde E. Manzanares el Real hasta E. El Pardo	-	0.443	0.443	0.443	0.808
0428021. R. Manzanares desde E. El Pardo hasta A. de Trofa	0.986	0.803	0.803	0.803	0.808
0805021. Rivera de Gata desde E. Rivera de Gata hasta R. Árrago	0.118	0.178	0.178	0.178	0.503
0316011. R. Sorbe desde E. Beleña hasta R. Henares	0.293	0.508	0.508	0.508	0.523
0202011. R. Tajuña desde E. La Tajera hasta R. Ungría	0.498	0.360	0.360	0.360	0.593
0703021. R. Tiétar desde E. Rosarito hasta A. Santa María	0.538	0.685	0.685	0.685	5.575
0101021. Río Tajo en Aranjuez	6.000	6.000	6.000	8.518	8.650
0105021. Río Tajo desde E. Almoguera hasta E. Estremera	-	-	-	8.483	8.600
0607021. Río Tajo en Toledo hasta Río Guadarrama	10.000	10.000	10.000	16.950	17.250
0602021. R. Tajo desde R. Alberche hasta la cola del E. Azután	-	10.000	10.000	17.825	18.000

Los caudales ecológicos mínimos propuestos para las masas de agua estratégicas han experimentado fuertes modificaciones entre el anterior ciclo de planificación y el PPHT. En 10 de las 19 masas de agua estratégicas con caudales ecológicos mínimos fijados en el Plan 2015, éstos se han incrementado en más del 50% y el caudal ecológico mínimo en Aranjuez ha experimentado un aumento casi del 45%. Ni en el EPTI ni en el

PPHT se ha explicado qué deterioro ambiental se ha producido durante el último ciclo en las masas de agua afectadas por estos caudales ecológicos para justificar la adopción de estos cambios tan drásticos con relación a los valores adoptados en ciclos de planificación anteriores. Llamen la atención los incrementos adoptados en los ríos Alagón (1,84 m³/s a 5,92 m³/s), Jerte (0,86 m³/s a 3,93 m³/s), Rivera de Gata (0,18 m³/s a 0,50 m³/s) o Tiétar (0,68 m³/s a 5,57 m³/s).

Valores resultantes del cálculo por simulación de hábitat

Los trabajos de simulación de hábitat realizados en su día presentan ciertas debilidades metodológicas, que pudieran atribuirse a la premura con la que debieron realizarse los cálculos en su día, poco después de la publicación de la Instrucción de Planificación Hidrológica y con un plazo de tiempo muy corto para poder entrar en la tramitación del PHT 2009-2015. Las principales debilidades constatadas en los trabajos de simulación de hábitat en Almoguera y Aranjuez son las siguientes:

- La longitud de los tramos sobre los que se ha trabajado (177 m y 440 m) es muy corta como para poder considerar que es representativa del tramo total, que tiene más de 100 km de longitud. Además, se han rechazado los resultados obtenidos en el tramo de 440 m, basando la decisión en el análisis de un único tramo de 177 m de longitud (el 0,16 % del total).
- No se ha adoptado un criterio uniforme en el percentil elegido para fijar el 100% del hábitat potencial útil. En las distintas masas se han utilizado los percentiles 15%, 20% o 25% sin justificar la elección realizada en cada caso.
- No siempre se ha elegido como especie más restrictiva la que requiere un mayor caudal. En Aranjuez, las curvas seleccionadas fueron las correspondientes a barbo adulto, cacho adulto, boga adulta y bermejuela. El caudal requerido por el cacho adulto para mantener el 50% del hábitat potencial útil (2,813 m³/s) es superior al requerido por la especie seleccionada (barbo adulto, 1,478 m³/s), pero, además, el barbo alevín (especie no incluida en el análisis), requiere un caudal todavía superior de 4,09 m³/s.
- La condición de contorno impuesta en la simulación hidráulica es manifiestamente incorrecta. En Aranjuez sólo se hizo un aforo en campo, por lo que los parámetros de la ecuación de contorno están indeterminados. Los aforos de campo realizados presentan discrepancias muy fuertes en comparación con los caudales registrados en las redes de medida esos días, lo que arroja serias dudas sobre su calidad. Por ejemplo, el 1/12/2008 se midieron en Almoguera 3,077 m³/s, cuando la estación del SAIH próxima, AR08 Almoguera, registró 6,06 m³/s y la estación de ROEA, EM-3009 Almoguera, registró 5,995 m³/s. El caudal supuesto es casi la mitad del realmente circulante, lo que distorsiona los resultados de la simulación hidráulica.
- Se han elegido los resultados obtenidos en el tramo más corto, que fue analizado con un modelo unidimensional. La IPH indica que, si se elige simular con un modelo unidimensional, deberá justificarse adecuadamente. El análisis realizado en el tramo cuyos resultados se han rechazado fue de mejor calidad, porque tiene mayor longitud y fue simulado con un modelo bidimensional, como establece la IPH.
- El valor de caudal ecológico mínimo que se obtiene en el cálculo se multiplica por coeficientes superiores a la unidad en tres de los cuatro trimestres para

establecer una modulación del caudal ecológico a lo largo del año. El coeficiente aplicado se denomina “factor de variación”, y supone un incremento injustificado de los valores adoptados, que no es consistente con la metodología empleada.

Estas debilidades se observaron también en los trabajos de simulación de hábitat realizados en Toledo y Talavera, como quedó constatado en el informe emitido en su día sobre el EPTI.

En la ficha del EPTI correspondiente a caudales ecológicos se prestó una atención especial al análisis de caudales ecológicos mínimos en el eje del Tajo, dejando claro que se trata de un asunto de gran importancia en el proceso de planificación. No resulta fácil entender que la decisión adoptada se haya basado en cálculos tan antiguos (han transcurrido más de 10 años) y no se haya considerado necesario revisar los cálculos, especialmente considerando que las debilidades puestas de manifiesto son fáciles de detectar mediante el examen de la documentación disponible, sin tener que realizar cálculos de verificación. Además, parte de estas debilidades pueden subsanarse sin gran esfuerzo y permiten corregir los errores detectados.

Dejando a un lado las debilidades metodológicas, la limitación más importante de los cálculos que han servido de base para la fijación de los caudales ecológicos es que emplearon las series de aportaciones en régimen natural que en su día estaban disponibles: las correspondientes al modelo SIMPA en el periodo 1980-2005. Esta versión de SIMPA ha quedado obsoleta, ya que recientemente se ha realizado una nueva calibración, ampliando las series hasta 2017-18. Esta versión es la que se ha adoptado en el presente ciclo de planificación en todas las confederaciones hidrográficas. En Anejo 2 del PPHT se ha presentado un trabajo de corrección de las series de SIMPA para adaptarlas a las estimaciones realizadas en numerosas estaciones de aforo de la cuenca mediante restitución a régimen natural. En particular, se dispone de la restitución a régimen natural realizada en la estación de aforo de la ROEA EM-3009, Almoguera, justo en las inmediaciones del punto de cálculo que se ha empleado para definir el caudal ecológico mínimo en el eje del Tajo.

Resulta sencillo corregir los cálculos de simulación de hábitat para adaptarlos a las nuevas series de aportaciones que están disponibles: la serie de SIMPA actualizado, la serie restituida a régimen natural en la estación EM-3009 y la serie de SIMPA ajustado por CHT. Basta con volver a calcular los percentiles que definen el 100% del hábitat potencial útil y aplicarlos a las curvas de hábitat-caudal que en su día se obtuvieron. En este trabajo se ha realizado dicho análisis, utilizando los mismos datos y aplicando exactamente los criterios establecidos por CHT.

A partir del análisis de las series disponibles, se constata que sería necesario modificar el valor del caudal que define el 100% del HPU de acuerdo con los siguientes valores:

- En Almoguera, el percentil 25% sería 10,95 m³/s (SIMPA actualizado), 12,85 m³/s (EM-3009) o 14,84 m³/s (SIMPA ajustado), en lugar de 14,71 m³/s.
- En Aranjuez, el percentil 25% sería 11,15 m³/s (SIMPA actualizado), 13,33 m³/s (EM-3009) o 15,34 m³/s (SIMPA ajustado), en lugar de 15,35 m³/s.

A partir de esta nueva definición del caudal correspondiente al 100% del hábitat potencial útil, se han obtenido los caudales correspondientes al 50% del HPU, siguiendo exactamente el mismo criterio que en el cálculo original. Los resultados son los siguientes:

- En Almoguera, el caudal correspondiente al 50% del HPU sería 5,19 m³/s (SIMPA actualizado), 6,26 m³/s (EM-3009) o 7,25 m³/s (SIMPA ajustado), en lugar de 7,28 m³/s.
- En Aranjuez, el caudal correspondiente al 50% del HPU sería 2,38 m³/s (SIMPA actualizado), 2,60 m³/s (EM-3009) o 2,81 m³/s (SIMPA ajustado), en lugar de 2,82 m³/s.

La serie más representativa de la circulación de caudales en el tramo es la que se basa en los caudales realmente registrados en la estación de aforo de la ROEA EM-3009, una vez restituidos a régimen natural. Siguiendo el criterio planteado en el PPHT, una vez subsanado el error en la distribución de SIMPA, el valor que se debía haber adoptado como base para la fijación de los caudales ecológicos Almoguera y Aranjuez debería haber sido 6,26 m³/s, en lugar de 7,28 m³/s.

Revisión de cálculos de caudales ecológicos en el eje del Tajo

Se han recopilado los cálculos de caudal ecológico mediante simulación de hábitat realizados en el eje del Tajo. Se ha dispuesto de siete análisis realizados en seis tramos. En cada uno de estos emplazamientos se han recopilado las curvas hábitat-caudal de la especie más restrictiva en los estadios alevín, juvenil y adulto. La especie más restrictiva es el barbo común en todos los tramos excepto en uno, donde es la boga. Se han obtenido también las curvas ponderadas que corresponden a los periodos seco y húmedo. Dado que la mayor parte de las curvas hábitat-caudal no presentan un máximo aparente, se ha definido el 100% del hábitat potencial útil a partir del percentil 25% de la serie de aportaciones. Se ha trabajado con tres series de aportaciones:

- Series correspondientes al modelo SIMPA actualizado, calculadas específicamente para los emplazamientos de los tramos.
- Series derivadas de la restitución a régimen natural realizada por CHT a partir de los datos registrados en la estación de aforo de la ROEA EM-3009. Esta serie se ha adaptado al punto de análisis sumando la aportación diferencial entre la estación de aforo y el emplazamiento del tramo.
- Series obtenidas por CHT corrigiendo las series del modelo SIMPA actualizado a partir de las restituciones a régimen natural realizadas en numerosas estaciones de aforo de la cuenca. Estas series están disponibles en los extremos de aguas abajo de las masas de agua, y se han adaptado al punto de cálculo realizando una interpolación a partir del caudal medio del modelo SIMPA.

Se han realizado dos tipos de cálculo: análisis único, que es la opción adoptada en los cálculos del Plan Hidrológico 2009, y análisis discriminando entre un periodo húmedo y un periodo de estiaje, que es lo establecido en la Instrucción de Planificación Hidrológica.

La tabla 7.2 resume los resultados obtenidos en los tramos analizados. En ella figura el valor del caudal ecológico, estimado como el que proporciona el 50% del hábitat potencial útil, tanto en el caso de análisis único (Anual), como en el análisis



discriminando entre periodo húmedo y seco (Periodos). En este último caso se presenta el valor medio correspondiente a los dos periodos. Los valores obtenidos en las dos hipótesis son muy similares, con alguna excepción puntual. Esta circunstancia ratifica que no debe aplicarse el factor de variación a los resultados de los cálculos.

La IPH no menciona el posible empleo de un factor de variación para la modulación anual del caudal ecológico mínimo calculado. En su lugar, proporciona metodologías para poder discriminar entre los distintos periodos del año. Por ejemplo, en los estudios de modelación de hábitat, establece que se deben discriminar al menos, dos periodos: un periodo húmedo y otro de estiaje, considerando en cada uno de ellos la predominancia de los estadios de la especie objetivo. En el caso de los estudios de simulación de hábitat del Plan Hidrológico del Tajo, se analizaron conjuntamente todas las curvas de preferencia de hábitat disponibles, independientemente del estadio correspondiente. Se emplearon los percentiles correspondientes a la distribución de caudales durante todo el año. Debe entenderse, por tanto, que las condiciones de caudal ecológico mínimo obtenido son aplicables todo el año y no resulta necesario incrementarlas, ya que permiten el desarrollo adecuado de las especies en todos sus estadios y durante todo el año.

El análisis que se ha realizado por periodos ha dado como resultado que los valores medios que se deducen de la discriminación entre periodos son inferiores a los valores anuales en la mitad de los casos analizados. El valor medio es una reducción del 4,4% y solamente en dos de los 21 casos se han obtenido incrementos superiores al 10%. En consecuencia, si se elige el método de simulación de hábitat, como referencia para la fijación de los caudales ecológicos, no está justificada la aplicación del factor de variación. Debería repetirse el análisis, discriminando por periodos y considerando el estadio correspondiente a cada periodo.

Tabla 7.2: Resumen de caudales ecológicos mínimos obtenidos en los tramos analizados con las tres series disponibles.

Tramo	Máx Curva	SIMPA actualizado		Restitución EM-3009		SIMPA ajustado	
		Anual	Periodos	Anual	Periodos	Anual	Periodos
CHT-1	-	5.31	4.56	6.32	5.43	7.21	6.03
ICA-1	-	4.84	4.65	5.30	6.09	6.20	7.12
ICA-1b	7.69	5.32	5.45	6.05	6.16	6.73	6.50
ICA-2	-	3.56	3.57	3.68	3.72	3.76	3.90
ICA-3	11.59	4.79	4.60	5.55	5.93	6.33	6.86
CHT-2	-	3.79	2.23	3.96	2.83	4.09	3.26
ICA-4	7.43	6.20	6.24	6.74	6.80	7.10	6.97
Promedio	7.43	4.83	4.47	5.37	5.28	5.92	5.81

Los resultados obtenidos con las tres series disponibles guardan proporción con el valor del percentil 25%. Las series SIMPA actualizado proporcionan los valores menores (media de 4,65 m³/s) y las series SIMPA ajustado por CHT proporcionan los mayores valores (media de 5,86 m³/s). El valor medio obtenido con las series basadas en la restitución en la estación de aforo EM-3009 es 5,32 m³/s. Los valores obtenidos a partir del máximo de las curvas hábitat-caudal son más elevados que los obtenidos tomando como 100% del hábitat potencial útil el correspondiente al percentil 25%. En

el caso de los tramos ICA-1b e ICA-3, estos resultados deben descartarse, porque el máximo de la curva se produjo para caudales de 35 m³/s y 40 m³/s, respectivamente. Estos caudales son muy elevados y no resulta razonable referir el 100% del hábitat potencial a unas condiciones hidrológicas que sólo se producen ocasionalmente.

A la vista de los resultados obtenidos en los cálculos realizados a lo largo del tramo, se propone como valor de caudal ecológico mínimo la media de los caudales obtenidos en los tramos analizados para la serie restituída en la estación de aforo EM-3009, que es igual a 5,37 m³/s.

A partir de los resultados de los cálculos, se ha realizado una comprobación del hábitat disponible que se obtendría si se implantaran los caudales ecológicos mínimos propuestos en el PPHT. Se ha comprobado que el límite superior del 80% HPU marcado por la IPH se superaría con mucha frecuencia. En concreto, el 87% de los casos para el alevín, en el 63% de los casos para el juvenil y en el 51% de los casos para el adulto. Este análisis indica claramente que los caudales ecológicos propuestos en el PPHT podrían reducirse sin perjudicar la disponibilidad de hábitat de las especies, ya que los valores propuestos suponen una disponibilidad por encima del valor máximo establecido por la IPH en muchas ocasiones.

En el caso del caudal ecológico mínimo actualmente vigente, se obtiene que se superaría el 50% del hábitat potencial útil en el 100% de los casos analizados para el estadio alevín, en el 90% de los casos analizados para el estadio juvenil y en el 67% de los casos analizados para el estadio adulto. En todos los casos en los que no se alcanza el 50% del HPU, sí se supera el 30%, que es el límite inferior establecido por la IPH para masas de agua muy modificadas. Puede concluirse que el caudal mínimo actualmente vigente es compatible con los criterios establecidos en la IPH para los métodos hidrobiológicos, ya que proporcionaría disponibilidad suficiente de hábitat en todos los casos analizados.

En consecuencia, la información que se ha empleado de base para la definición de los caudales ecológicos en el eje del tramo no justifica que se incremente el caudal mínimo actualmente vigente en Aranjuez.

Conclusiones del estudio

De acuerdo con el contenido de este informe, pueden extraerse las siguientes conclusiones fundamentales:

- La propuesta del Proyecto de Plan Hidrológico del Tajo (PPHT) sobre caudales ecológicos mínimos en el eje del Tajo se basa en los cálculos de simulación de hábitat realizados en 2008 y 2009 con ocasión de la redacción del Plan Hidrológico del Tajo 2009-2015.
- En los cálculos de simulación de hábitat se aplicó el criterio de fijar el caudal ecológico para el caudal que proporciona el 50% del hábitat potencial útil (HPU). El 100% del HPU se definió mediante el percentil 25% de la serie de aportaciones, excepto en Toledo, donde se adoptó el percentil 15%. Los caudales que se obtuvieron fueron: Almoguera: 7,28 m³/s, Aranjuez: 1,48 m³/s, Toledo: 13,03 m³/s y Talavera: 4,74 m³/s.
- Los valores de Aranjuez y Talavera se desestimaron por la “singularidad hidromorfológica” de los tramos, adoptando el valor de Almoguera para el tramo

Bolarque-Jarama y el valor de Toledo para el tramo Jarama-Talavera. Sin embargo, la modelación realizada en Aranjuez y Talavera es de mejor calidad que las de los puntos adoptados, al haber analizado tramos de mayor longitud empleando un modelo bidimensional.

- Los cálculos de simulación de hábitat en los que se ha basado el caudal ecológico mínimo propuesto entre Bolarque y Aranjuez presentan debilidades metodológicas: son poco representativos del tramo (se analizó una longitud de menos de 200 m sobre un tramo de más de 100 km), los aforos realizados presentan gran discrepancia con relación a los registros oficiales, se emplearon modelos unidimensionales y no se discriminó en periodos húmedo y seco.
- Además de las debilidades metodológicas, los cálculos presentan un error material, que debe ser subsanado. Los cálculos se realizaron empleando la serie del modelo SIMPA 1980-2005, disponible en 2009. Sin embargo, el modelo SIMPA se ha actualizado desde entonces y la Confederación Hidrográfica del Tajo ha realizado la restitución a régimen natural de los caudales registrados en la estación de aforo EM-3009 Almoguera. Los cálculos de simulación de hábitat deberían ser actualizados para incorporar las características de las nuevas series.
- En este trabajo se ha realizado la actualización de los cálculos, sustituyendo las series obsoletas de SIMPA en el periodo 1980-2005 por las tres series disponibles en la actualidad para el periodo 1980-2018: el modelo SIMPA actualizado, la restitución en la estación de aforo EM-3009 y el modelo SIMPA ajustado por CHT. Se ha empleado la documentación publicada sobre el trabajo original y se han aplicado exactamente los mismos criterios de análisis. Los caudales que se obtuvieron fueron: Almoguera: 5,19 m³/s (SIMPA actualizado), 6,26 m³/s (EM-3009) y 7,25 m³/s (SIMPA ajustado); Aranjuez: 2,38 m³/s (SIMPA actualizado), 2,60 m³/s (EM-3009) o 2,81 m³/s (SIMPA ajustado).
- Si se realiza la corrección del error a partir de la serie más fiable, que es la restitución a régimen natural de los caudales registrados en la estación de aforo EM-3009 Almoguera, el caudal ecológico mínimo correspondiente al trimestre más seco debería reducirse en Almoguera y Aranjuez desde 7,28 m³/s a 6,26 m³/s.
- No se considera adecuado el empleo del factor de variación para la modulación del caudal ecológico a lo largo del año. La IPH no contempla un factor de variación, sino la discriminación en el cálculo entre los distintos periodos del año que se quieran distinguir. Este es el procedimiento que se debería seguir.
- En los estudios de simulación de hábitat del Plan Hidrológico del Tajo (PHT) 2009-2015 se analizaron conjuntamente todas las curvas de preferencia de hábitat disponibles, independientemente del estadio de la especie. Por tanto, las condiciones de caudal ecológico mínimo obtenido son aplicables todo el año, sin que esté justificado su incremento.
- Se han revisado los cálculos de caudal ecológico disponibles en seis tramos entre Bolarque y Aranjuez, partiendo de las curvas de hábitat-caudal identificadas en su momento y empleando las nuevas series hidrológicas disponibles. Los valores medios obtenidos en el tramo han sido: 4,83 m³/s (SIMPA actualizado), 5,37 m³/s (EM-3009) y 5,92 m³/s (SIMPA ajustado).
- También se han realizado cálculos discriminando entre un periodo seco y un periodo húmedo. Los valores medios anuales obtenidos han sido: 4,47 m³/s (SIMPA actualizado), 5,28 m³/s (EM-3009) y 5,81 m³/s (SIMPA ajustado). Los

valores que se obtienen aplicando la discriminación por periodos, que es el procedimiento establecido en la IPH, son inferiores a los valores anuales, lo que contradice frontalmente la aplicación del factor de variación.

- A la vista de los resultados obtenidos en los cálculos realizados a lo largo del tramo, se propone como valor de caudal ecológico mínimo la media de los caudales obtenidos en los seis tramos analizados para la serie restituida en la estación de aforo EM-3009, que es igual a 5,32 m³/s.
- Si se adoptara el criterio de fijar el caudal ecológico mínimo para el valor que proporciona el 30% del hábitat potencial útil, el caudal ecológico mínimo propuesto podría rebajarse hasta 3,45 m³/s. Este es el criterio adoptado en la única masa de agua fuera del eje del Tajo para la que se han fijado caudales ecológicos mínimos a partir de métodos hidrobiológicos: la masa de agua estratégica 0704020 Embalse de Rosarito.
- Deben revisarse los valores propuestos en el PPHT de caudal ecológico mínimo en el eje del Tajo. En particular, debe corregirse el valor del caudal que define el 100% del hábitat potencial útil, tomando el valor correspondiente a la serie más fiable, que es la restitución a régimen natural de los caudales registrados en la estación de aforo EM-3009 Almoguera. También debe eliminarse el factor de variación, aplicando en su lugar el procedimiento contemplado en la IPH, que consiste en la discriminación por periodos en el análisis mediante simulación de hábitat.
- Según las conclusiones de este estudio, no estaría justificado incrementar el caudal mínimo actualmente vigente en Aranjuez de 6 m³/s, por estos motivos:
 - Cumple los criterios de la IPH en el tramo Bolarque-Jarama, puesto que se encuentra entre el 30% y el 80% del HPU en todos los casos analizados.
 - Es superior al caudal ecológico mínimo obtenido en este estudio.

En Madrid, a 18 de noviembre de 2021.

Firmado:

GARROTE
DE
MARCOS
LUIS
MARIA -
00802092J

Firmado digitalmente por GARROTE DE MARCOS LUIS MARIA - 00802092J
Fecha: 2021.12.21 18:04:00 +01'00'



Luis Garrote de Marcos
Catedrático de Ingeniería Hidráulica
Universidad Politécnica de Madrid

