

CÁLCULO DE CAUDALES ECOLÓGICOS MÍNIMOS PARA EL TRAMO BOLARQUE-ARANJUEZ DEL RÍO TAJO



Luis Garrote de Marcos
Universidad Politécnica de Madrid





CÁLCULO DE CAUDALES ECOLÓGICOS MÍNIMOS 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.....	1
2. Normativa sobre cálculo de caudales ecológicos.....	3
Reglamento de Planificación Hidrológica.....	3
Instrucción de Planificación Hidrológica	4
3. Datos de partida.....	9
Zona en estudio y datos de partida.....	9
Datos hidrológicos.....	10
Desagregación a escala diaria	14
4. Cálculo por métodos hidrológicos.....	17
Variables de centralización móviles	17
Percentiles de la curva de caudales clasificados.....	20
Resultados obtenidos.....	23
Análisis de la influencia de la duración de la serie.....	27
5. Cálculo por métodos hidrobiológicos	31
Metodología de análisis	31
Tramos analizados y datos disponibles.....	33
Análisis del tramo CHT-1	35
Análisis del tramo ICA-1	38
Análisis del tramo ICA-1b	40
Análisis del tramo ICA-2	42
Análisis del tramo ICA-3	45
Análisis del tramo CHT-2	48
Análisis del tramo ICA-4	51
Resumen de resultados.....	53
6. Resumen de resultados	57
Cálculo por métodos hidrológicos.....	57
Cálculo por métodos hidrobiológicos	59



Anejo 1: Resultados gráficos del cálculo de caudal ecológico por métodos hidrológicos

Anejo 2: Resultados gráficos del cálculo de caudal ecológico por métodos hidrobiológicos

CÁLCULO DE CAUDALES ECOLÓGICOS MÍNIMOS 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”). 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 adoptan unos valores de caudal ecológico mínimo en el eje del río Tajo que son significativamente superiores a los valores que se han venido aplicando desde la puesta en servicio del Acueducto Tajo-Segura.

La Región de Murcia ha organizado un Grupo de Trabajo sobre Planificación Hidrológica (GTPH), con el objeto de analizar el contenido de los proyectos de planes hidrológicos que el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico ha sometido a consulta pública. Se ha solicitado por parte del GTPH una propuesta de trabajos para realizar cálculos de caudales ecológicos para el tramo Bolarque-Aranjuez del río Tajo a partir de series hidrológicas elaboradas por restitución a régimen natural de las observaciones.

El presente documento presenta los cálculos de caudales ecológicos que se han realizado a partir de dichas series en el tramo del río Tajo comprendido entre Bolarque y Aranjuez.

Objeto del trabajo y contenido del documento

De acuerdo con los antecedentes presentados, presente trabajo tiene como objetivo principal la aplicación de los métodos propuestos en la Instrucción de Planificación para calcular los caudales ecológicos mínimos en distintos puntos del eje del Tajo en el tramo Bolarque-Aranjuez. Tiene como antecedente inmediato el trabajo “Síntesis de los cálculos de caudales ecológicos mínimos para el tramo Bolarque-Aranjuez del río Tajo”, elaborado en el mes de octubre de 2021. En dicho trabajo se recopilaron todos los cálculos de caudales ecológicos realizados a lo largo del tiempo, tanto por parte de la Confederación Hidrográfica del Tajo en los distintos Planes Hidrológicos como por parte otras entidades.

En este documento se presentan las series sobre las que se han hecho los cálculos y se describe la aplicación de los métodos de cálculo hidrológicos e hidrobiológicos a partir de la información disponible.

Para ello, presenta en primer lugar un resumen de la normativa sobre cálculo de caudales ecológicos recogida en la Instrucción de Planificación Hidrológica. En el capítulo siguiente se presentan y analizan las series de datos disponibles y se realiza su



desagregación a escala diaria. En los dos capítulos siguientes se presentan los cálculos realizados por métodos hidrológicos y métodos hidrobiológicos Finalmente, en el último capítulo se resumen los resultados obtenidos. El informe se completa con dos anejos, donde se presentan en forma detallada los resultados gráficos de la aplicación de los métodos de cálculo.

2. NORMATIVA SOBRE CÁLCULO DE CAUDALES ECOLÓGICOS

El estudio realizado ha consistido en el cálculo de caudales ecológicos por métodos hidrológicos e hidrobiológicos para el eje del Tajo. En este capítulo se presenta en primer lugar la consideración que tienen los caudales ecológicos en la normativa y 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 periodos 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.



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.

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 3.4.1.4.1.1.2.1 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. DATOS DE PARTIDA

Zona en estudio y datos de partida

La zona en estudio es el tramo del río Tajo desde los embalses de Entrepeñas y Buendía hasta Aranjuez. El análisis se centra en tres puntos significativos: Bolarque, Almoguera y Aranjuez. La cuenca vertiente a Aranjuez abarca el sistema de regulación de cabecera, con los embalses de Entrepeñas y Buendía. La Figura 3.1 representa esquemáticamente la zona en estudio.

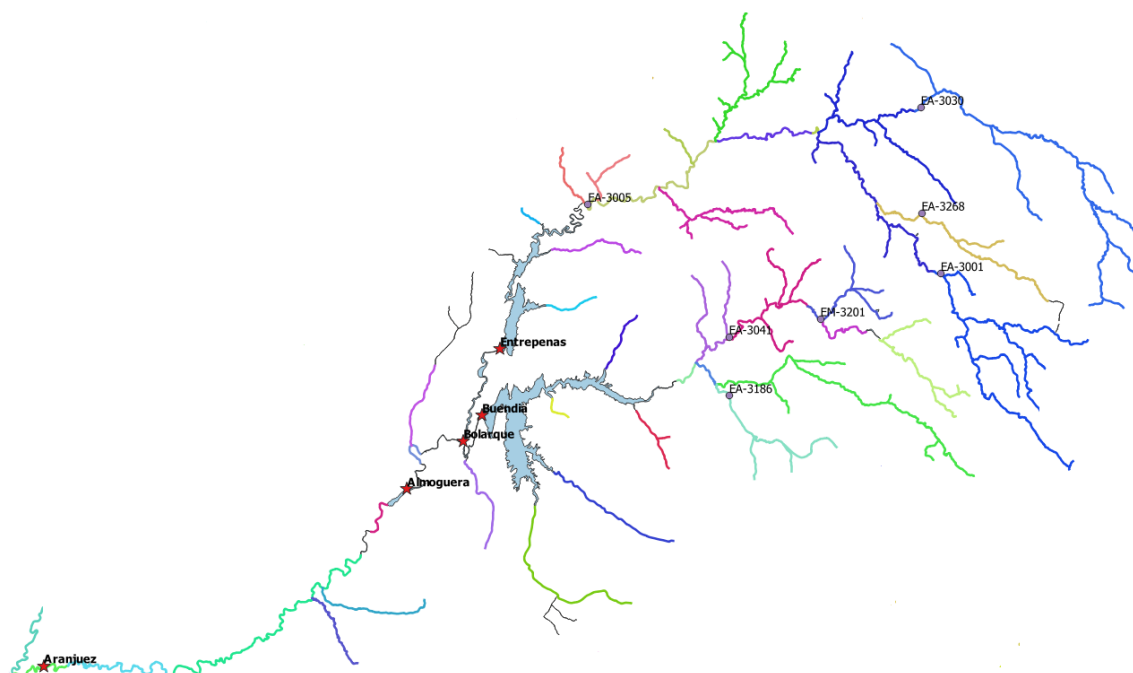


Figura 3.1. Representación esquemática de la zona en estudio.

Los datos de partida son las series de aportaciones en régimen natural proporcionadas por el Grupo de Trabajo sobre Planificación Hidrológica (GTPH) de la Región de Murcia. Se han proporcionado cinco series de aportaciones, obtenidas mediante restitución a régimen natural realizada a partir de los registros de varias estaciones de aforo disponibles en la cuenca. La figura 3.1 muestra las estaciones utilizadas y los puntos donde se han realizado las restituciones, que están marcados con un asterisco.

La disponibilidad de datos se resume en la tabla 3.1 y en la figura 3.2. En la tabla se presentan los años disponibles en cada punto de análisis, junto con el número de años completos, incompletos y sin datos. Esta información se presenta también gráficamente en la figura 3.2. Las series en los emplazamientos de los embalses de Entrepeñas y Buendía comienzan en enero de 1912. En el resto de los emplazamientos, las series comienzan en octubre de 1943, pero presentan cinco años sin datos poco después, por lo que el registro continuo comienza en octubre de 1953. Las series finalizan en agosto de 2018, por lo que el último año hidrológico está incompleto.

Tabla 3.1: Datos disponibles en las series restituidas

Código	Denominación	Sup. km ²	Año Inicio	Año Fin	Número de años			
					Tot	Com	Inco	SinD
EM-3006	E.Entrepeñas	3.892	1911-12	2017-18	107	95	4	10
EM-3043	E.Buendía	3.417	1911-12	2017-18	107	84	2	15
EM-3007	E.Bolarque	7.556	1942-43	2017-18	76	71	1	5
EM-3009	E.Almoguera	7.946	1942-43	2017-18	76	71	0	5
EA-3011	Aranjuez	9.458	1942-43	2017-18	76	71	0	5

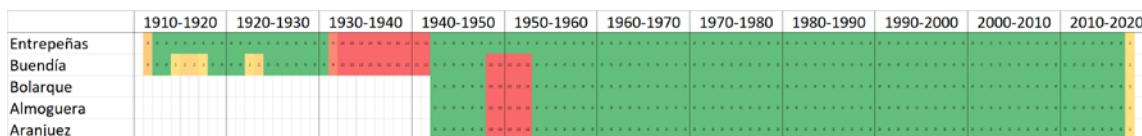


Figura 3.2. Representación de la disponibilidad de datos en las series restituidas esquemática de la zona en estudio.

A la vista de la disponibilidad de datos, este estudio se centra en el periodo que transcurre desde el año hidrológico 1953-54 hasta el año hidrológico 2017-18. Dado que a este último año le falta el dato del mes de septiembre, se ha rellenado este hueco, tomando en cada serie la aportación del mes de septiembre en el año hidrológico en que la suma de aportaciones de los once primeros meses se aproximara más a la correspondiente al año hidrológico 2017-18.

Datos hidrológicos

En este apartado se presentan algunos aspectos característicos de las series hidrológicas empleadas en el estudio. Se han seleccionado cuatro series: la compuesta por la suma de las aportaciones en los embalses de Entrepeñas y Buendía, Bolarque, Almoguera y Aranjuez. Los estadísticos más relevantes de las series mensuales se presentan en la tabla 3.2, comparando los valores en la totalidad del periodo disponible, 1953-54 a 2017-18, con el periodo empleado en el Proyecto de Plan Hidrológico de Tajo, 1980-81 a 2017-18.

En la tabla se aprecia que las diferencias entre las cuatro series son escasas. La suma de caudal medio en Entrepeñas y Buendía difiere del caudal medio en Aranjuez en un 7,3%, cuando la cuenca vertiente difiere en un 29,4%. Esto indica que la aportación diferencial entre los embalses de cabecera y Aranjuez es muy escasa. Sin embargo, la diferencia entre los dos periodos analizados es muy significativa. Con relación al caudal medio, las diferencias oscilan entre una reducción del 21,8% en Bolarque y una reducción del 26,6% en Almoguera. La desviación estándar de las series se ha reducido algo más, entre un 27,7% y un 30%. Esto ha hecho que el coeficiente de variación también se haya reducido, entre un 2,2% y un 9%. Estas alteraciones de las series tienen su repercusión en el cálculo de caudales ecológicos, que es muy sensible al periodo analizado.

Tabla 3.2: Estadísticos representativos de las series mensuales disponibles.

Estadístico	Entrepeñas-Buendía		Bolarque		Almoguera		Aranjuez	
	53-17	80-17	53-17	80-17	53-17	80-17	53-17	80-17
Media (m ³ /s)	34.55	26.59	35.11	27.45	35.11	25.76	37.09	28.38
Mediana (m ³ /s)	24.41	19.33	24.82	19.78	24.82	17.58	25.86	20.20
Máximo (m ³ /s)	202.52	178.21	206.56	192.00	206.56	186.31	223.86	208.82
Mínimo (m ³ /s)	6.78	6.78	6.79	6.80	6.79	7.24	6.83	6.83
Desviación Estándar (m ³ /s)	28.48	19.94	29.16	21.08	29.16	20.91	31.91	22.43
Coefficiente de Variación	0.82	0.75	0.83	0.77	0.83	0.81	0.86	0.79
Percentil 5% (m ³ /s)	11.01	9.94	11.10	10.21	11.10	9.88	11.37	10.40
Percentil 10% (m ³ /s)	13.21	11.71	13.27	11.93	13.27	10.87	13.57	12.11
Percentil 15% (m ³ /s)	14.40	13.21	14.46	13.40	14.46	11.82	14.77	13.57
Percentil 20% (m ³ /s)	15.64	14.08	15.73	14.16	15.73	12.66	16.17	14.42
Percentil 25% (m ³ /s)	16.86	14.65	17.07	14.94	17.07	13.33	17.61	15.18
Percentil 75% (m ³ /s)	41.26	31.83	42.14	33.04	42.14	30.84	44.35	33.80

En la figura 3.3 se presenta un gráfico comparativo de los valores de caudal medio anual y desviación estándar anual obtenidos en las series analizadas entre el periodo completo, 1953-54 a 2017-18, y el periodo adoptado en el PPHT, 1980-81 a 2017-18, donde puede apreciarse la fuerte disminución experimentada por estos dos estadísticos.

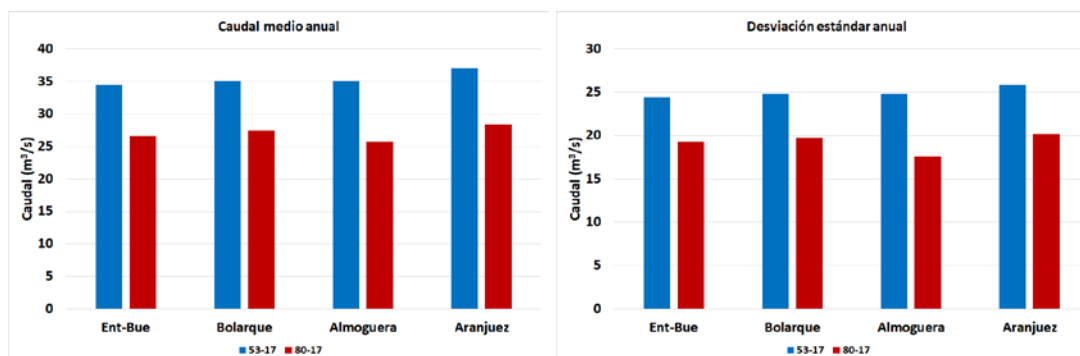


Figura 3.3. Comparación entre estadísticos de las series en el periodo completo (1953-2017) y el periodo adoptado en el PPHT (1980-2017). Izquierda: caudal medio anual. Derecha: Desviación estándar anual

En la figura 3.4 se comparan las cuatro series temporales a escala anual. Puede apreciarse que las diferencias son muy pequeñas, ya que todas las series presentan una variación similar. En la figura también se aprecia con claridad el cambio en el comportamiento de las series, aproximadamente a partir del año 1980.

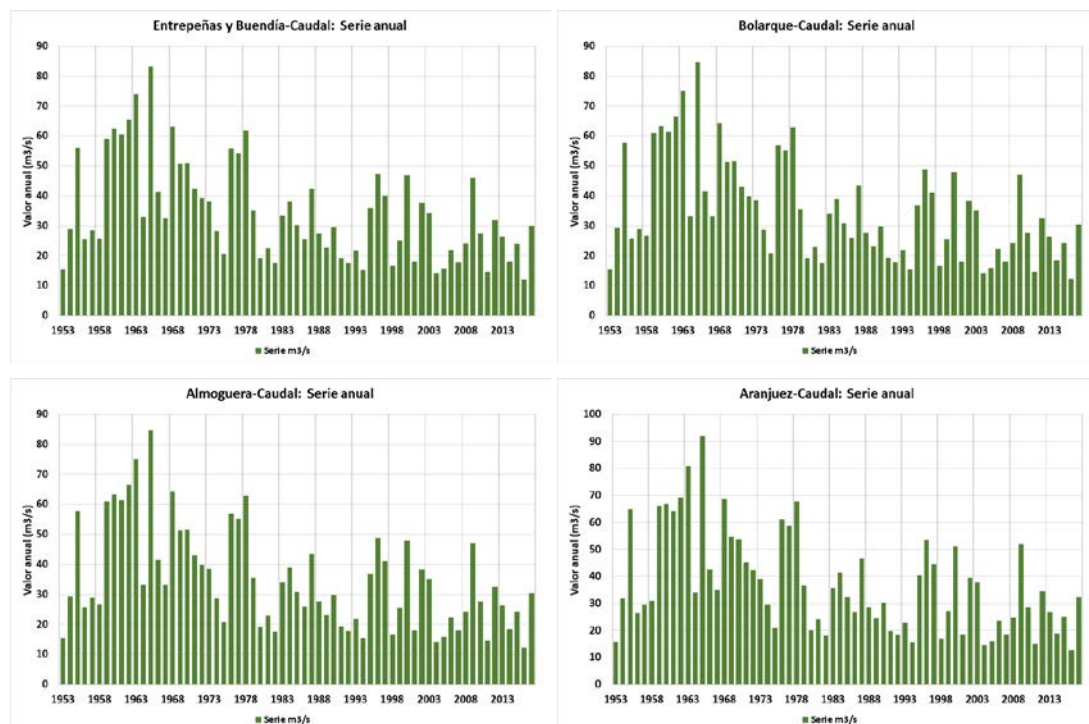


Figura 3.4. Series temporales a escala anual en los cuatro emplazamientos. Arriba: suma de Entrepeñas y Buendía (izquierda) y Bolarque (derecha). Abajo : Almaguera (izquierda) y Aranjuez (derecha).

En la figura 3.5 se muestra la comparación entre los caudales medios mensuales en los dos periodos en Aranjuez. En la parte superior de la figura se muestran los valores mensuales absolutos y en la inferior los valores relativos, normalizados por el caudal medio de cada periodo. Como se puede apreciar, no sólo se han reducido los valores de los caudales medios mensuales, sino que el reparto estacional también ha experimentado una variación importante. En la figura 3.6 se muestra la comparación entre las distribuciones de los caudales mensuales en los dos periodos en Aranjuez. En la parte superior de la figura se muestran los diagramas de cajas y bigotes, marcando la media y la banda correspondiente a la media más-menos una desviación estándar. En la parte inferior se muestran las curvas de caudales clasificados de cada mes. Las diferencias entre las dos distribuciones son aparentes.

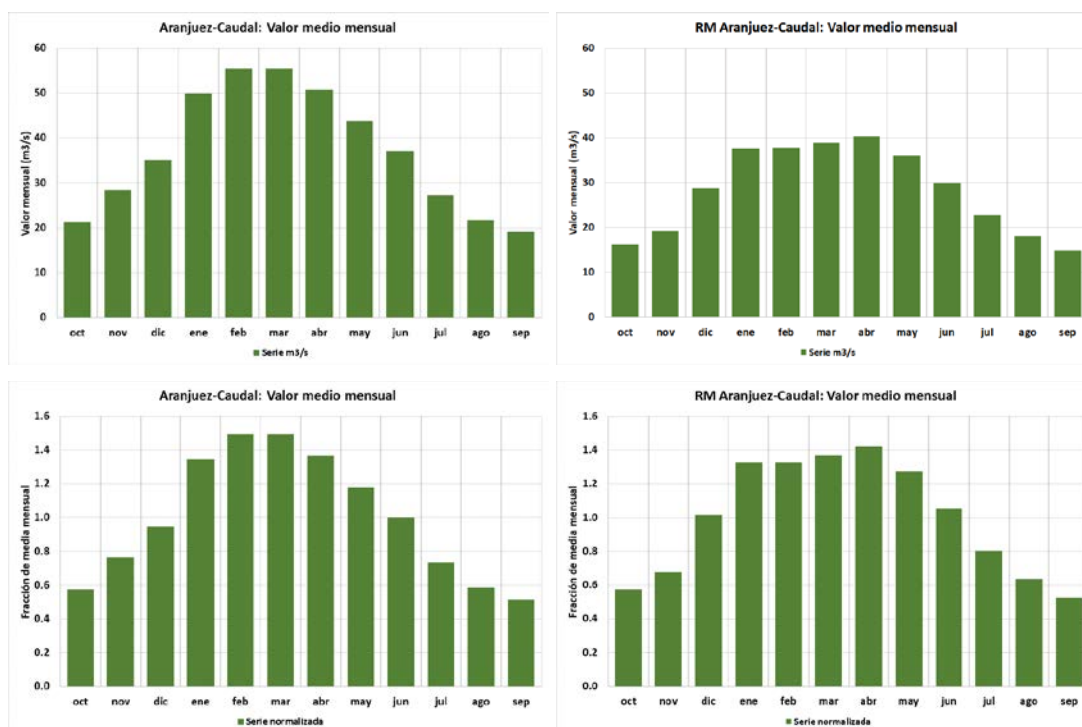


Figura 3.5. Comparación de los caudales medios mensuales en Aranjuez entre el periodo completo, 1953-2017 (izquierda) y el periodo adoptado en el PPHT, 1980-2017, (derecha). Arriba: valores absolutos. Abajo: valores relativos normalizados por el caudal medio del periodo

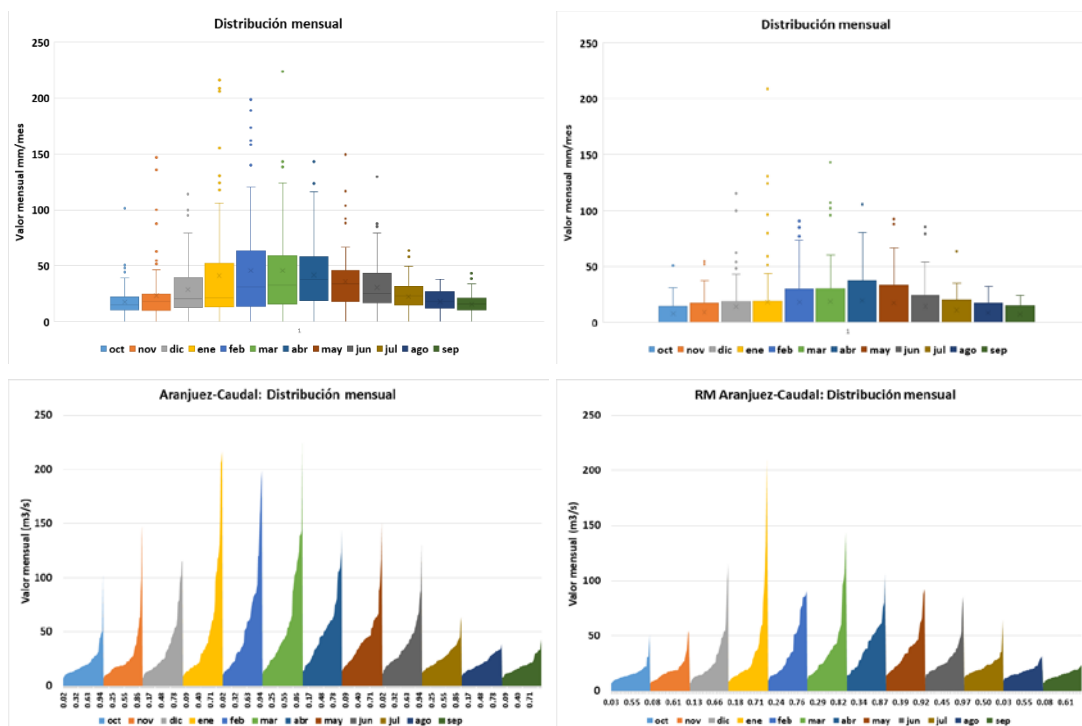


Figura 3.6. Comparación de la distribución de los caudales mensuales en Aranjuez entre el periodo completo, 1953-2017 (izquierda) y el periodo adoptado en el PPHT, 1980-2017, (derecha). Arriba: diagrama de cajas y bigotes. Abajo: caudales clasificados.

Por último, en la figura 3.7 se muestra la comparación entre la distribución total de caudal mensuales y las correspondientes a un periodo húmedo y a un periodo seco. Se ha tomado como periodo húmedo el que corresponde a los seis meses de mayor caudal medio mensual, que son los de los trimestres de invierno y primavera. El periodo seco corresponde a los meses de verano y otoño. La figura muestra que estas distribuciones también se han alterado considerablemente.

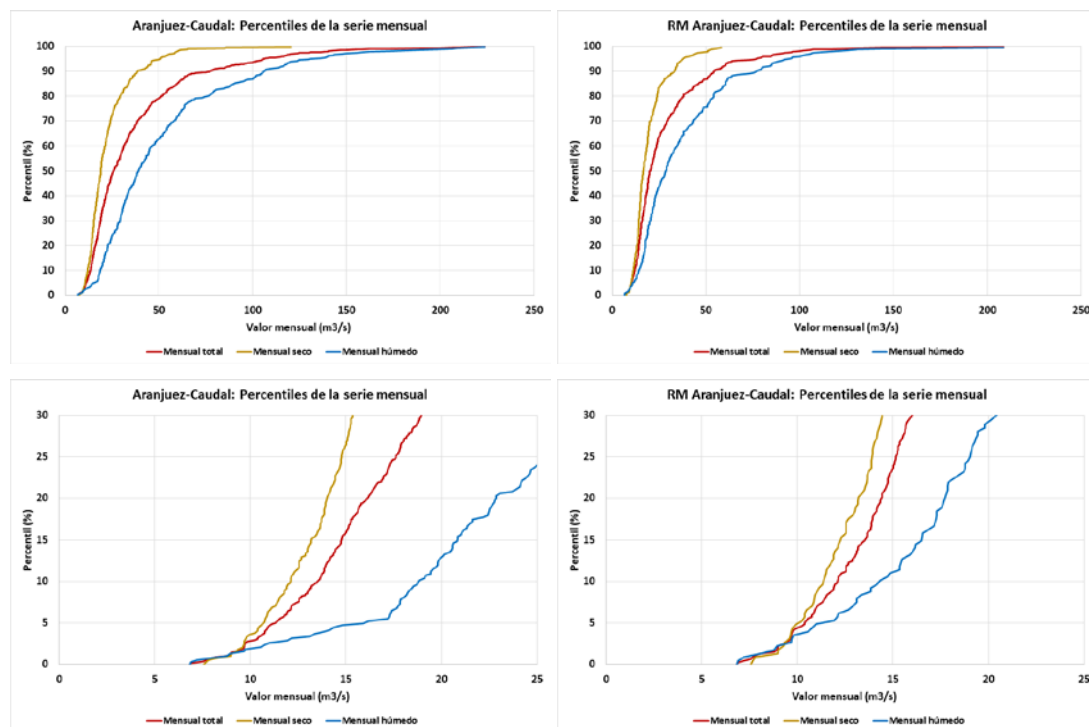


Figura 3.3. Comparación entre las distribuciones en Aranjuez de caudales mensuales totales, en periodo húmedo y en periodo seco entre el periodo completo, 1953-2017 (izquierda) y el periodo adoptado en el PPHT, 1980-2017 (derecha). Arriba: distribuciones completas. Abajo: Detalle de caudales bajos

Desagregación a escala diaria

Dado que los métodos hidrológicos de cálculo de caudales ecológicos están formulados sobre series de datos diarios, se han recabado también los datos de la estación de aforo de la ROEA 3005 Trillo, que se ha empleado para realizar la desagregación a escala diaria. Los aprovechamientos aguas arriba de Trillo son escasos, por lo que su régimen es próximo al régimen natural. La cuenca vertiente en Trillo es 3253 km², lo que supone el 83% de la cuenca del embalse de Entrepeñas, el 43% de la cuenca de Bolarque y el 34% de la cuenca de Aranjuez. La estación dispone de registro continuo de datos diarios desde octubre de 1942, y sus datos se ha empleado como referencia en la desagregación a partir de octubre de 1953.

En la tabla 3.3 se comparan los estadísticos representativos de las series a escala mensual y a escala diaria. Hay diferencias importantes en los valores máximo y mínimo y en la desviación estándar. En los estadísticos comparables, las diferencias son menos relevantes. La diferencia en el caudal medio mensual es atribuible al diferente número



de días que tiene cada mes, que hace que la media de los doce meses no coincida con la media de los 365 días del año. Las diferencias en los percentiles sí son atribuibles a la desagregación diaria. En general, los percentiles bajos (del 5% al 25%) disminuyen entre un 3% y un 5% cuando se tiene en cuenta la desagregación a escala diaria. Esto indica que, de cara a la estimación de caudales ecológicos, el cálculo a escala mensual es conservador, ya que produce valores de caudal ecológico superiores a los que se obtendrían a escala diaria.

Tabla 3.3: Comparación de los estadísticos representativos de las series mensuales y diarias.

Estadístico	Entrepeñas-Buendía		Bolarque		Almoguera		Aranjuez	
	Mens.	Diaria	Mens.	Diaria	Mens.	Diaria	Mens.	Diaria
Media (m ³ /s)	34.55	34.46	35.11	35.01	35.11	35.67	37.09	36.99
Mediana (m ³ /s)	24.41	22.88	24.82	23.14	24.82	23.47	25.86	24.00
Máximo (m ³ /s)	202.52	734.41	206.56	754.48	206.56	776.30	223.86	820.79
Mínimo (m ³ /s)	6.78	3.23	6.79	3.83	6.79	4.43	6.83	4.46
Desviación Estándar (m ³ /s)	28.48	35.96	29.16	36.86	29.16	37.90	31.91	40.49
Coefficiente de Variación	0.82	1.04	0.83	1.05	0.83	1.06	0.86	1.09
Percentil 5% (m ³ /s)	11.01	10.40	11.10	10.53	11.10	10.72	11.37	10.88
Percentil 10% (m ³ /s)	13.21	12.31	13.27	12.45	13.27	12.59	13.57	12.83
Percentil 15% (m ³ /s)	14.40	13.75	14.46	13.84	14.46	13.97	14.77	14.18
Percentil 20% (m ³ /s)	15.64	14.82	15.73	14.97	15.73	15.11	16.17	15.43
Percentil 25% (m ³ /s)	16.86	15.93	17.07	16.10	17.07	16.32	17.61	16.72
Percentil 75% (m ³ /s)	41.26	37.81	42.14	38.31	42.14	38.92	44.35	40.00



4. CÁLCULO POR MÉTODOS HIDROLÓGICOS

En este apartado se presentan los cálculos de caudales ecológicos mínimos por métodos hidrológicos. Como ejemplo para ilustrar la aplicación se han tomado los resultados obtenidos con la serie diaria de la estación de aforos de Trillo, que es la que se ha tomado como base para la desagregación a escala diaria.

Variables de centralización móviles

Se han aplicado dos métodos de variables de centralización móviles para determinar el régimen medioambiental de caudales mínimos. Los métodos se han seleccionado con el criterio de su aplicabilidad para los ríos españoles, y son los siguientes:

- Caudal básico de mantenimiento (QBM)
- Media móvil de orden 25 (MM25)

A continuación, se describe el procedimiento de cálculo en cada uno de ellos.

Caudal Básico de Mantenimiento (QBM)

Este método se basa en el estudio de las series temporales de caudales medios diarios, mediante la utilización de medias móviles a lo largo de las series. El parámetro fundamental del método es el caudal básico, definido como el mínimo absoluto a mantener en el cauce. Este caudal básico se calcula independientemente para cada año de la serie, aplicando el siguiente procedimiento:

Se parte de la serie de caudales diarios de cada año, Q_i . En primer lugar, se calculan las medias móviles Mk_i de los caudales diarios considerando intervalos de k datos consecutivos, con valores de k crecientes entre 1 y 100.

$$Mk_j = \frac{\sum_{i=j}^{i=j+k-1} Q_i}{k}$$

El límite de 100 se establece para garantizar que se incluirá el periodo de estiaje completo. En la figura 4.1 puede apreciarse el resultado del cálculo de la media móvil en función de la duración del periodo de agregación.

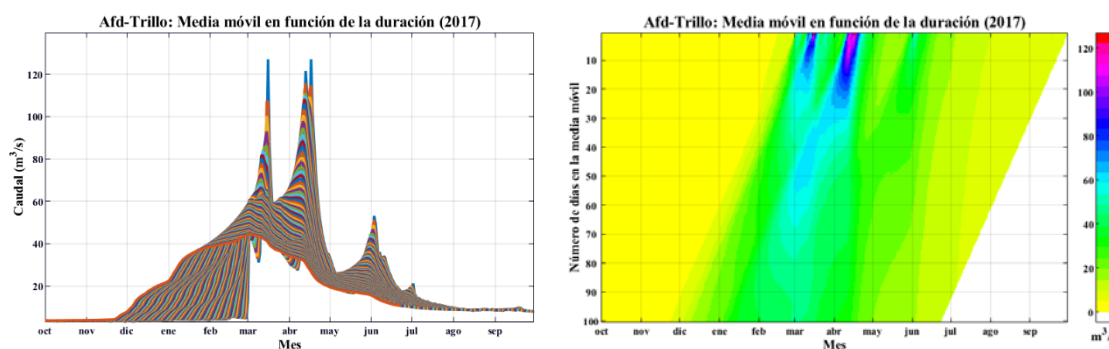


Figura 4.1. Cálculo de medias móviles en función de la duración para el año 2017.

Con estas medias se obtiene un vector $V = [m_1 \ m_2 \ m_3 \ .. m_k \ .. m_{100}]$, que contiene los valores mínimos m_k de la media móvil para cada duración k .

$$V = [m_1 \ m_2 \ m_3 \ \dots m_k \ \dots m_{100}] \text{ donde } m_k = \min (Mk_j)_{j=1 \text{ a } 100}$$

La figura 4.2 representa gráficamente (en dos formatos) las componentes de los vectores de mínimos para los años disponibles en la estación de aforo de Trillo.

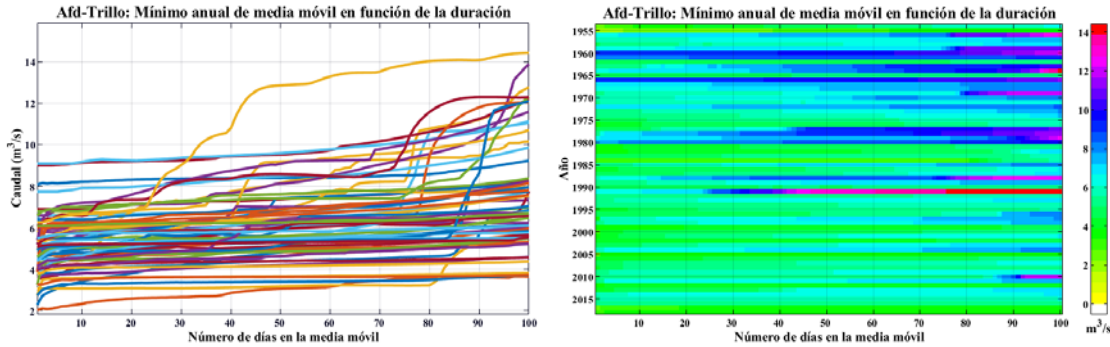


Figura 4.2. Vectores de mínimos de las medias móviles en función de la duración

Tras obtener el vector de mínimos se calcula el vector de incrementos relativos de cada par de valores $IR = [i_1 \ i_2 \ i_3 \ \dots i_k \ \dots i_{99}]$, mediante la expresión:

$$IR = [i_1 \ i_2 \ i_3 \ \dots i_k \ \dots i_{99}] \text{ donde } i_k = \frac{m_{k+1} - m_k}{m_k}$$

La figura 4.3 representa gráficamente (en dos formatos) las componentes de los vectores de incremento relativo para los años disponibles en la estación de aforo de Trillo.

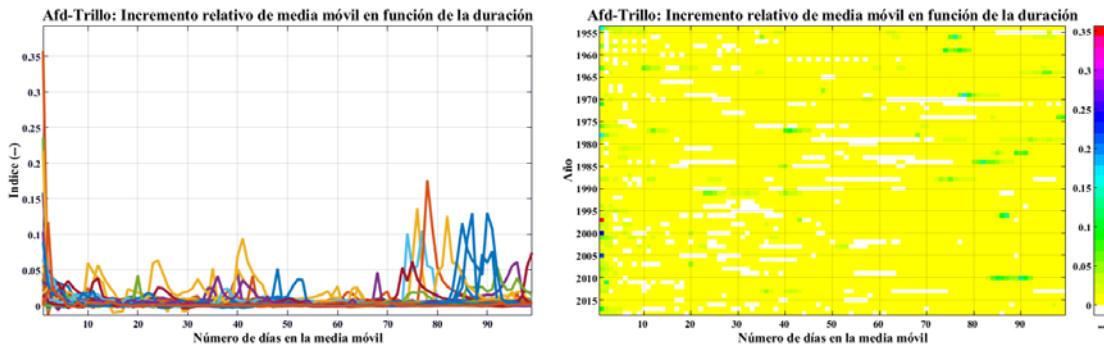


Figura 4.3. Vectores de incrementos relativos de las medias móviles

El caudal básico de cada año es la componente del vector de mínimos para la que se produce el mayor incremento relativo.

$$Qb_p = m_p \text{ si } IR_p = \max(IR_p)_{k=1 \text{ a } 100}$$

El caudal básico final se calcula como la media aritmética de los caudales básicos anuales obtenidos para cada año de estudio.

$$Qb = \sum_{p=1}^{p=n} Q_p$$

En la figura 4.4 se representa el valor de caudal básico que se obtiene para cada uno de los años completos en la serie de la estación de aforos de Trillo, y la evolución

temporal del valor promedio que se obtiene en función de la duración de la serie (comenzando por el año más reciente).

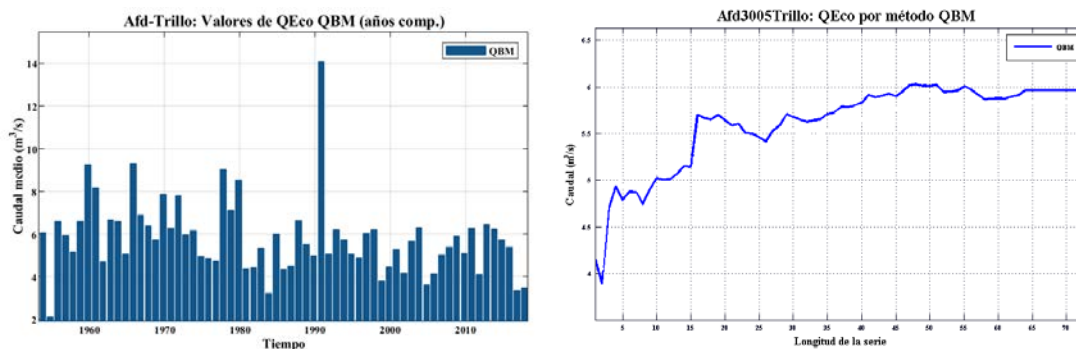


Figura 4.4. Valores anuales del caudal básico en la serie de Trillo y valor resultante en función de la duración de la serie (comenzando por el final)

Media Móvil de orden 25

La media móvil de orden 25 es un método estadístico desarrollado en la Escuela de Montes de la Universidad Politécnica de Madrid bajo la dirección de Diego García Jalón y que representa como caudal ecológico el definido por la media de los caudales medios mínimos correspondientes a 25 días consecutivos, calculada sobre la serie hidrológica seleccionada.

Se parte de la serie de caudales diarios de cada año, Q_i . En primer lugar, se calculan las medias móviles M_i de los caudales diarios considerando intervalos de 25 días consecutivos.

$$M_i = \frac{\sum_{k=i}^{k=i+24} Q_k}{25}$$

En la figura 4.5 puede apreciarse el resultado del cálculo de la media móvil de 25 días durante el periodo de analizado en Trillo.

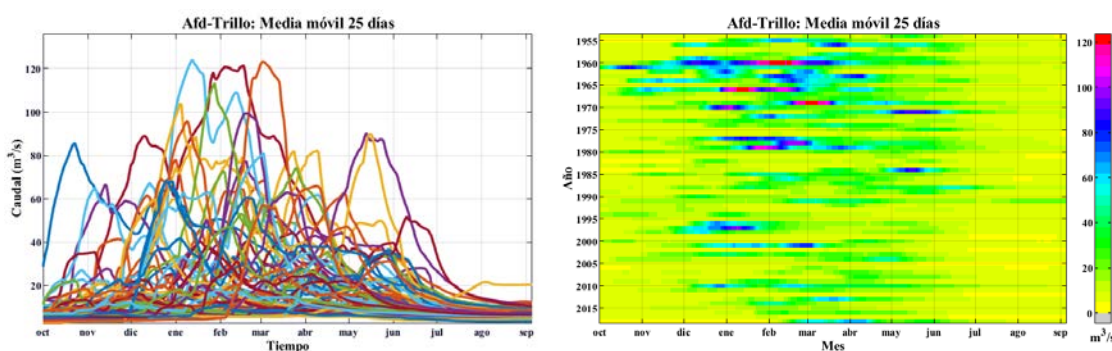


Figura 4.5. Cálculo de las medias móviles 25 días en Trillo.

Con estas medias se obtiene un vector $V = [m_1 \ m_2 \ m_3 \ ..m_j \ ..m_n]$, que contiene los valores mínimos m_j de la media móvil para cada uno de los n años analizados.

$$V = [m_1 \ m_2 \ m_3 \ ..m_j \ ..m_n] \text{ donde } m_j = \min (M_i)_{i=1 \text{ a } 365}$$

La figura 4.6 representa gráficamente (en dos formatos) los valores de las medias

móviles de 25 días, ordenados cada año de mayor a menor para los años disponibles en la estación de aforo de Trillo. El vector de mínimos corresponde a los mínimos valores de la serie.

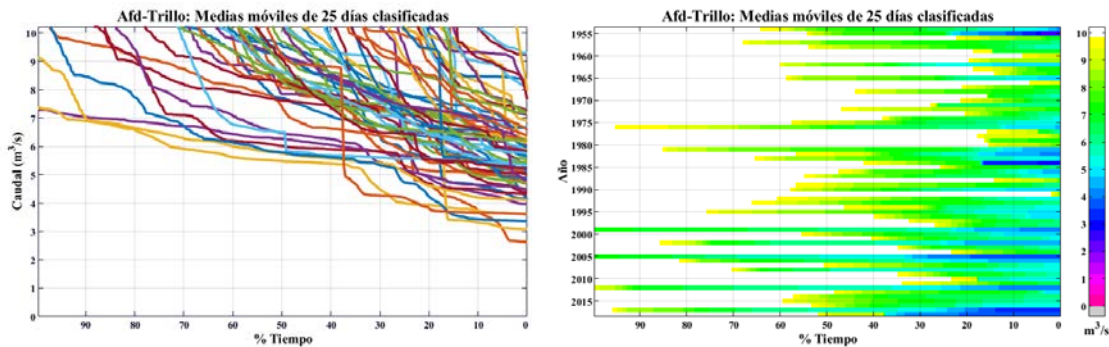


Figura 4.6. Valores ordenados de las medias móviles de 25 días

El caudal ecológico de cada año es el valor correspondiente del vector de mínimos.

$$Q25_j = m_j$$

El caudal ecológico final se calcula como la media aritmética de los caudales ecológicos anuales obtenidos para cada año de estudio.

$$Q25 = \sum_{j=1}^{j=n} m_j$$

En la figura 4.7 se representa el valor de caudal ecológico que se obtiene para cada uno de los años completos en la serie de la estación de aforos de Trillo, y la evolución temporal del valor promedio que se obtiene en función de la duración de la serie (comenzando por el año más reciente).

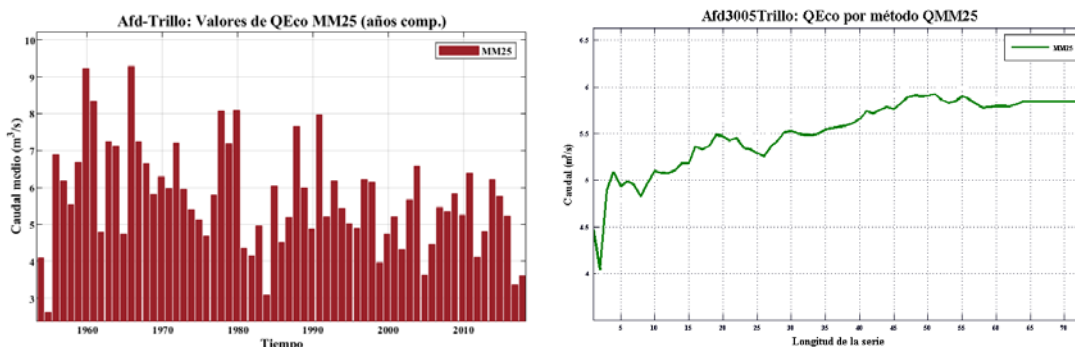


Figura 4.7. Valores anuales del caudal ecológico MM25 en la serie de Trillo y valor resultante en función de la duración de la serie (comenzando por el final)

Percentiles de la curva de caudales clasificados

En el método de percentiles de la curva de caudales clasificados se considera que el caudal ecológico es el que supera a un determinado porcentaje de los valores en la serie disponible. Los métodos pueden aplicarse sobre la distribución muestral, o sobre

un ajuste de la muestra a una función de distribución determinada. El método se ha aplicado con dos criterios distintos:

- Clasificación mensual
- Clasificación en dos periodos: seco y húmedo

A continuación, se describe el procedimiento de cálculo en cada uno de ellos.

Clasificación mensual

En la aplicación a escala mensual se ha obtenido la distribución de caudales correspondiente a cada mes a lo largo de toda la serie disponible. Se ha seleccionado como caudal ecológico el que supera a un determinado porcentaje de los valores. De acuerdo con la Instrucción de Planificación, se han considerado los valores que superan el 5%, 10% y 15% de los datos de la serie para ese mismo mes.

En la figura 4.8 se presenta la distribución mensual de los valores en la serie de la estación de aforo de Trillo. Se han marcado, para cada mes, los valores medio, mínimo y los correspondientes a los percentiles de superación del 15%, 10% y 5%.

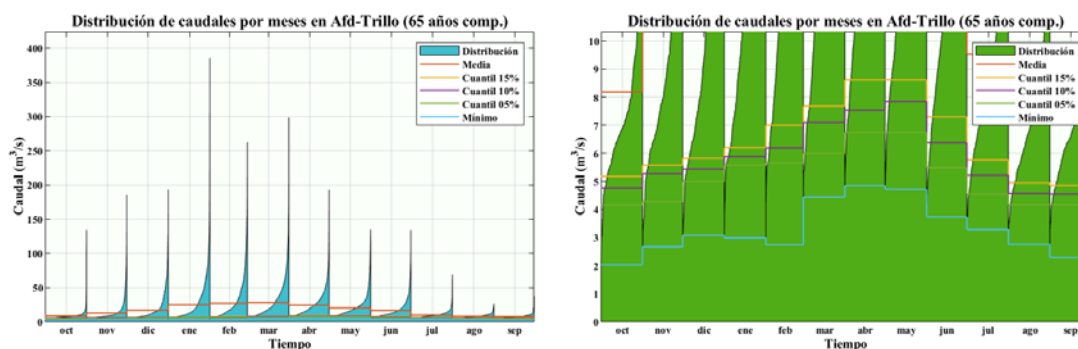


Figura 4.8. Distribución de caudales mensuales para los 65 años completos de la serie de Trillo(izquierda: valores totales, derecha: detalle de valores bajos)

Los caudales ecológicos según este método son los valores marcados de los percentiles. Se ha estudiado la evolución de estos valores en función de la duración de la serie que se analiza. En la figura 4.9 se presenta la evolución de dichos valores para un mes característico de la estación húmeda (abril) y otro de la estación seca (agosto).

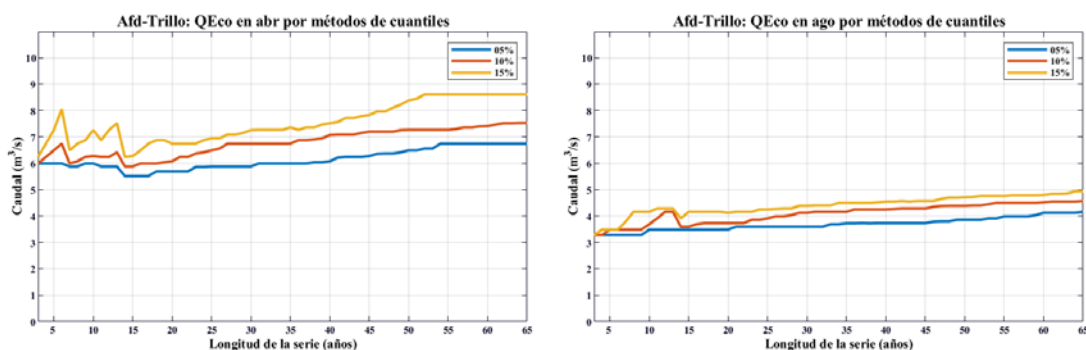


Figura 4.9. Evolución de los caudales ecológicos por el método de los percentiles en función de la longitud de la serie analizada para un mes de la estación húmeda (abril) y otro de la estación seca (agosto).

La evolución del conjunto de los valores de caudal ecológico en función de la duración de la serie se puede apreciar en los gráficos de la figura 4.10, que corresponden a los percentiles del 15% y 5%.

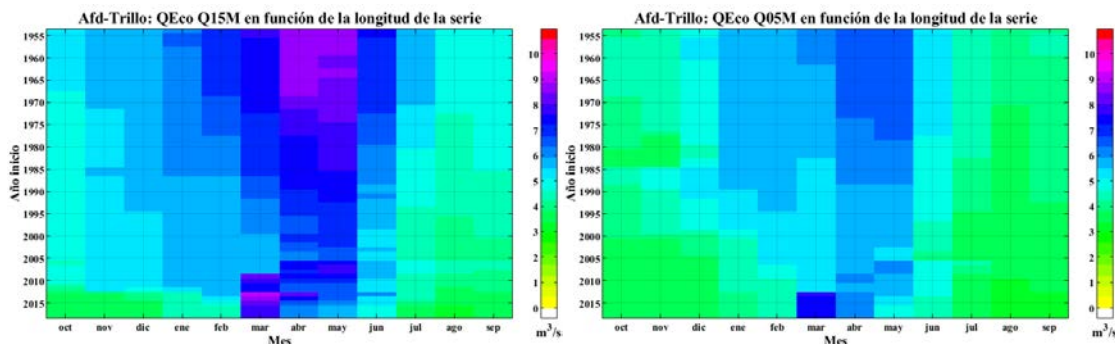


Figura 4.10. Evolución de los caudales ecológicos por el método de los percentiles en función de la longitud de la serie analizada para el percentil del 85% (izquierda) y del 95% (derecha).

Clasificación en dos periodos

En la clasificación en dos periodos se ha distinguido entre el periodo seco, compuesto por los trimestres de verano (julio, agosto y septiembre) y otoño (octubre, noviembre y diciembre) y el periodo húmedo, compuesto por los trimestres de invierno (enero, febrero y marzo) y primavera (abril, mayo y junio). Se ha procedido igual que en el caso mensual, seleccionando como caudal ecológico al que supera a un determinado porcentaje de los valores de la serie en ese periodo. Se han considerado los valores que superan al 5%, 10% y 15% de los datos de la serie para ese mismo mes.

En la figura 4.11 se presenta la distribución por periodos de los valores en la serie de la estación de aforo de Trillo. Se han marcado, para cada periodo, los valores medio, mínimo y los correspondientes a los percentiles de superación del 15%, 10% y 5%.

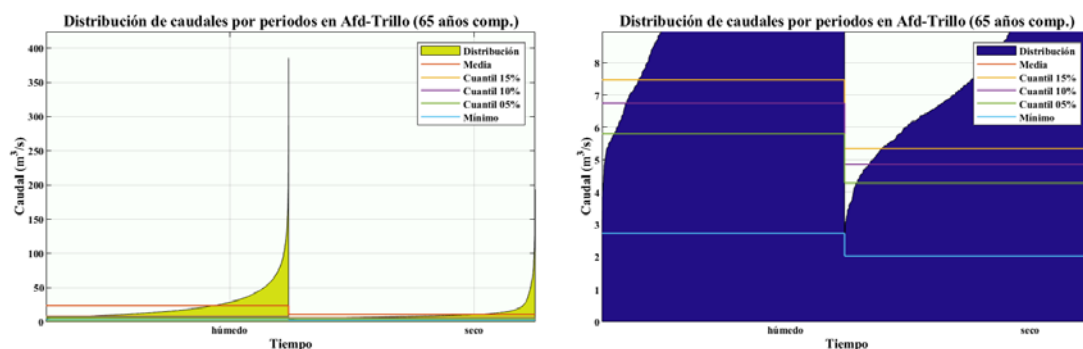


Figura 4.11. Distribución de caudales por periodo para los 65 años completos de la serie de Trillo (izquierda: valores totales, derecha: detalle de valores bajos)

Los caudales ecológicos según este método son los valores marcados de los percentiles. Se ha estudiado la evolución de estos valores en función de la duración de la serie que se analiza. En la figura 4.12 se presenta la evolución de dichos valores para el periodo húmedo y para el periodo seco.

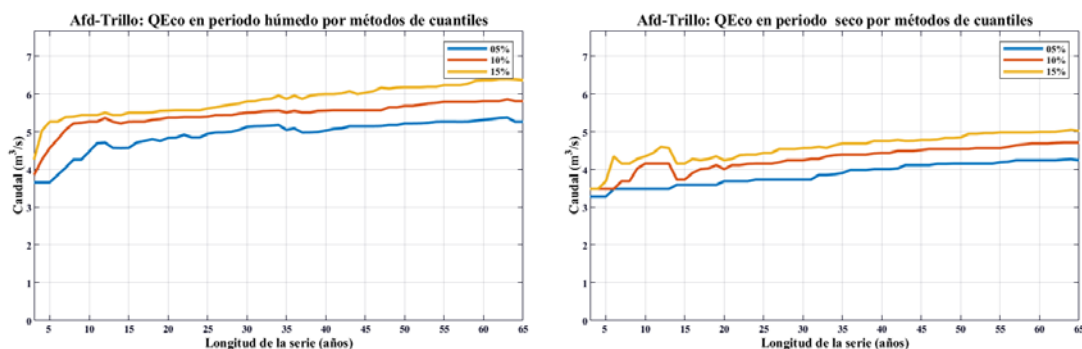


Figura 4.12. Evolución de los caudales ecológicos por el método de los percentiles en función de la longitud de la serie analizada para el periodo húmedo (izquierda) y seco (derecha).

La evolución del conjunto de los valores de caudal ecológico en función de la duración de la serie se puede apreciar en los gráficos de la figura 4.13, que corresponden a los percentiles del 15% y 5%.

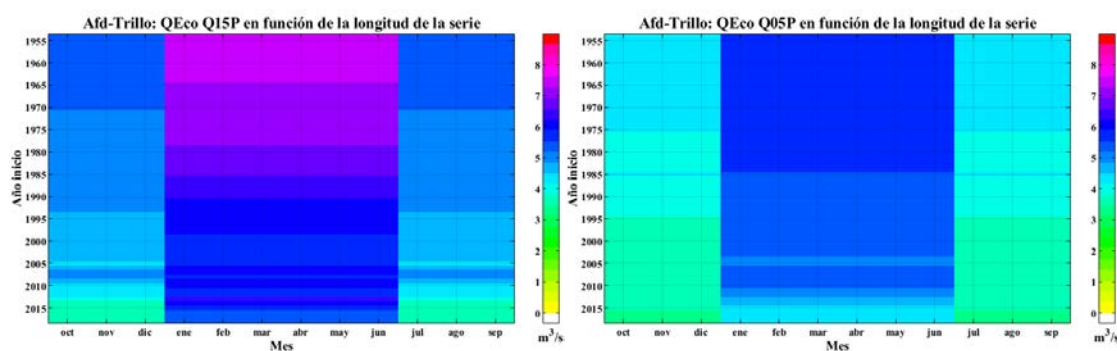


Figura 4.13. Evolución de los caudales ecológicos por el método de los percentiles en función de la longitud de la serie analizada para el percentil del 15% (izquierda) y del 5% (derecha).

Resultados obtenidos

Los cálculos de caudal ecológico por métodos hidrológicos se han realizado sobre las series diarias obtenidas por desagregación de los valores mensuales. La serie que se ha tomado como referencia para la desagregación es la correspondiente a la estación e aforo de ROEA 3005 Trillo, sobre la que también se ha realizado el cálculo. En total, se han obtenido resultados en las siguientes series:

- Serie en Trillo (EA-3005)
- Serie en Embalse de Entrepeñas (EM-3006)
- Serie en Embalse de Buendía (EM-3043)
- Serie suma de Embalse de Entrepeñas y Embalse de Buendía
- Serie en Embalse de Bolarque (EM-3007)
- Serie en Embalse de Almoguera (EM 3009)
- Serie en Aranjuez (EA 3011)

Los cálculos se han realizado para la serie completa, desde 1953-54 a 2017-18 y para todas las duraciones posibles. El proceso de cálculo y los resultados se presentan



gráficamente en el Anejo 1, “Resultados gráficos del cálculo de caudales ecológicos por métodos hidrológicos”. En este apartado se presenta un resumen de los resultados en forma de tablas. Se presentan los resultados correspondientes a la serie total, a la comprendida entre los años hidrológicos 1980-81 y 2017-18, que es la empleada en los cálculos del Proyecto de Plan Hidrológico del Tajo, y a la serie más reciente disponible con una duración de 20 años, que va desde 1998-99 a 2017-18.

En primer lugar, se presentan las tablas 4.1, 4.2 y 4.3, en las que figuran los valores de los caudales ecológicos obtenidos en el cálculo por los métodos del caudal básico de mantenimiento, la media móvil de 25 días y el método de cuantiles por periodos, para percentiles de 15%, 10% y 5% de probabilidad de superación. En la tabla 4.1 se presentan los resultados de la serie completa, de 1953-54 a 2017-18, y en la tabla 4.2 se presentan los resultados de la serie del PPHT, de 1980-81 a 2017-18 y en la tabla 4.3 se presentan los resultados de la serie corta, de 1998-99 a 2017-18.

Tabla 4.1: Caudales ecológicos (m^3/s), calculados por los métodos de media móvil y percentiles por periodos considerando la serie 1953-54 a 2017-18

Denominación	QBM	MM25	Percentil 15		Percentil 10		Percentil 5	
			Húm.	Seco	Húm.	Seco	Húm.	Seco
Trillo	5.80	5.70	7.46	5.35	6.74	4.86	5.80	4.28
Entrepeñas	7.26	7.12	8.72	6.55	7.92	5.99	6.97	5.28
Buendía	7.14	6.44	7.43	5.15	6.56	4.50	5.58	3.80
Ent-Bue	14.43	14.04	16.41	12.11	14.62	11.00	13.14	9.38
Bolarque	14.71	14.21	16.60	12.19	14.76	11.13	13.19	9.46
Almoguera	14.90	14.40	16.76	12.35	14.85	11.35	13.29	9.62
Aranjuez	15.29	14.72	17.00	12.62	15.04	11.57	13.38	9.77

Tabla 4.2: Caudales ecológicos (m^3/s), calculados por los métodos de media móvil y percentiles por periodos considerando la serie 1980-81 a 2017-18

Denominación	QBM	MM25	Percentil 15		Percentil 10		Percentil 5	
			Húm.	Seco	Húm.	Seco	Húm.	Seco
Trillo	5.33	5.21	6.84	4.95	6.04	4.55	5.56	4.01
Entrepeñas	6.30	6.28	7.94	5.91	7.38	5.53	6.31	5.00
Buendía	5.26	4.72	6.66	4.50	6.07	4.03	5.28	3.55
Ent-Bue	11.86	11.23	14.72	10.93	13.74	9.87	12.13	8.84
Bolarque	12.12	11.34	14.81	11.06	13.82	10.03	12.22	9.00
Almoguera	12.21	11.46	14.90	11.32	13.88	10.08	12.31	9.02
Aranjuez	12.53	11.69	15.10	11.57	13.95	10.34	12.47	9.09

Tabla 4.3: Caudales ecológicos (m^3/s), calculados por los métodos de media móvil y percentiles por periodos considerando la serie 1998-99 a 2017-18

Denominación	QBM	MM25	Percentil 15		Percentil 10		Percentil 5	
			Húm.	Seco	Húm.	Seco	Húm.	Seco
Trillo	5.00	5.00	5.87	4.57	5.57	4.25	5.34	3.73
Entrepeñas	5.96	6.06	7.46	5.58	6.84	5.32	5.95	4.88
Buendía	4.73	4.34	6.36	4.15	5.68	3.80	4.73	3.44
Ent-Bue	10.57	10.67	14.12	9.88	13.15	9.32	10.63	8.53
Bolarque	11.06	10.73	14.20	10.10	13.19	9.40	10.67	8.70
Almoguera	11.18	10.82	14.28	10.21	13.25	9.47	10.75	8.77
Aranjuez	11.39	10.94	14.40	10.39	13.37	9.62	10.88	8.82

Los resultados de caudal ecológico por el método de percentiles a escala mensual se presentan en las tablas 4.4 a 4.12. En las tablas 4.4, 4.5 y 4.6 se presentan los resultados obtenidos con el percentil de superación 15%. La tabla 4.4 corresponde a la serie completa, de 1953-54 a 2017-18, la tabla 4.5 corresponde a la serie PPHT, de 1980-81 a 2017-18 y la tabla 4.6 corresponde a la serie corta, de 1998-99 a 2017-18.

Tabla 4.4: Caudales ecológicos (m^3/s), calculados por el método de percentiles mensuales para el percentil de superación 15% considerando la serie 1953-54 a 2017-18

Denominación	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Trillo	5.17	16.78	5.57	5.82	6.20	7.00	7.68	8.61	8.61	7.30	5.76	4.86
Entrepeñas	6.02	18.28	5.99	6.73	7.38	7.84	8.44	10.08	9.94	9.68	8.34	6.29
Buendía	4.41	16.16	4.36	4.75	5.57	7.09	7.88	8.69	8.42	8.39	7.83	4.64
Ent-Bue	10.95	34.45	10.40	12.25	13.24	14.98	16.92	18.93	18.61	18.14	16.38	11.29
Bolarque	11.13	35.00	10.78	12.31	13.36	15.04	17.04	19.07	18.90	18.21	16.42	11.36
Almoguera	11.34	35.66	10.93	12.49	13.40	15.15	17.22	19.23	19.27	18.38	16.46	11.47
Aranjuez	11.62	36.98	11.45	12.85	13.55	15.24	17.66	19.78	19.60	18.61	16.54	11.57

Tabla 4.5: Caudales ecológicos (m^3/s), calculados por el método de percentiles mensuales para el percentil de superación 15% considerando la serie 1980-81 a 2017-18

Denominación	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Trillo	4.84	19.71	5.39	5.65	6.04	6.19	7.09	7.36	7.72	6.19	4.99	4.70
Entrepeñas	5.62	21.03	5.34	5.78	6.74	7.21	7.80	8.73	9.37	9.02	7.60	5.87
Buendía	4.11	19.48	3.78	4.20	5.28	6.43	6.72	8.02	7.82	7.82	7.38	4.29
Ent-Bue	9.99	40.51	9.32	10.46	12.12	14.22	14.54	16.76	17.39	17.01	15.36	10.51
Bolarque	10.12	41.16	9.38	10.69	12.21	14.37	14.58	16.97	17.44	17.28	15.39	10.53
Almoguera	10.18	41.96	9.47	10.82	12.36	14.42	15.01	17.38	17.52	17.37	15.42	10.57
Aranjuez	10.48	43.55	9.62	11.91	12.70	14.54	15.11	17.49	17.66	17.50	15.54	10.72

Tabla 4.6: Caudales ecológicos (m^3/s), calculados por el método de percentiles mensuales para el percentil de superación 15% considerando la serie 198-99 a 2017-18

Denominación	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Trillo	4.72	22.73	5.27	5.45	5.75	5.65	6.00	6.74	6.84	5.49	4.55	4.25
Entrepeñas	5.38	24.18	5.34	5.43	5.76	6.26	7.82	9.27	9.12	8.88	7.19	5.50
Buendía	3.96	22.66	3.62	3.95	4.86	5.75	6.80	8.37	7.46	7.20	6.70	4.15
Ent-Bue	9.38	46.85	9.10	9.53	10.63	13.15	15.37	17.57	16.63	15.59	13.98	9.82
Bolarque	9.40	47.65	9.11	9.88	10.67	13.19	15.42	17.66	16.71	15.67	14.02	9.84
Almoguera	9.55	48.69	9.14	10.03	10.75	13.25	15.49	17.90	16.83	15.82	14.22	9.88
Aranjuez	9.77	50.68	9.18	10.18	10.88	13.37	15.61	18.01	16.97	15.96	14.39	9.95

En las tablas 4.7, 4.8 y 4.9 se presentan los resultados obtenidos con el percentil de superación 10%. La tabla 4.7 corresponde a la serie completa, de 1953-54 a 2017-18, la tabla 4.8 corresponde a la serie PPHT, de 1980-81 a 2017-18 y la tabla 4.9 corresponde a la serie corta, de 1998-99 a 2017-18.



Tabla 4.7: Caudales ecológicos (m^3/s), calculados por el método de percentiles mensuales para el percentil de superación 10% considerando la serie 1953-54 a 2017-18

Denominación	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Trillo	4.76	5.27	5.45	5.88	6.19	7.10	7.53	7.84	6.37	5.21	4.57	4.55
Entrepeñas	5.62	5.34	5.85	6.62	7.21	7.82	8.77	9.17	9.04	7.66	6.37	5.74
Buendía	4.03	3.80	4.10	5.03	6.39	6.83	8.13	7.64	7.53	7.09	6.01	4.31
Ent-Bue	10.12	9.32	10.56	12.15	14.22	14.60	16.98	17.09	17.00	15.02	12.55	10.51
Bolarque	10.19	9.39	10.73	12.35	14.37	14.97	17.31	17.44	17.19	15.04	12.58	10.53
Almoguera	10.31	9.61	10.92	12.51	14.42	15.07	17.66	17.52	17.36	15.06	12.63	10.57
Aranjuez	10.48	9.75	11.91	12.70	14.54	15.49	18.19	17.66	17.50	15.14	12.71	10.72

Tabla 4.8: Caudales ecológicos (m^3/s), calculados por el método de percentiles mensuales para el percentil de superación 10% considerando la serie 1980-81 a 2017-18

Denominación	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Trillo	4.57	4.99	5.38	5.82	5.72	6.19	6.90	7.15	5.56	4.61	4.25	4.40
Entrepeñas	5.34	5.07	5.32	5.76	6.83	7.53	8.09	8.73	8.37	6.99	5.91	5.50
Buendía	3.79	3.62	3.87	4.99	5.82	6.35	6.58	7.26	7.28	6.88	5.69	3.73
Ent-Bue	9.26	9.10	9.53	10.91	13.28	14.08	14.79	16.42	15.99	14.28	11.92	9.82
Bolarque	9.40	9.11	9.87	11.03	13.35	14.14	14.82	16.45	16.02	14.34	11.95	9.84
Almoguera	9.43	9.14	9.99	11.12	13.45	14.23	14.85	16.50	16.06	14.41	12.00	9.88
Aranjuez	9.51	9.25	10.18	11.37	13.60	14.34	14.89	16.58	16.14	14.49	12.08	9.95

Tabla 4.9: Caudales ecológicos (m^3/s), calculados por el método de percentiles mensuales para el percentil de superación 10% considerando la serie 1998-99 a 2017-18

Denominación	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Trillo	4.55	5.15	5.23	5.57	5.56	5.56	6.08	6.37	5.08	4.25	3.74	4.13
Entrepeñas	5.20	5.07	4.78	5.51	6.05	7.12	8.26	8.43	8.06	6.85	5.28	5.31
Buendía	3.64	3.55	3.41	4.27	4.76	6.48	7.62	6.86	6.31	6.48	5.40	3.78
Ent-Bue	8.98	8.78	8.15	9.78	11.11	13.79	16.24	15.13	14.48	13.85	11.61	9.56
Bolarque	9.00	8.82	8.16	9.90	11.17	13.82	16.28	15.16	14.51	13.89	11.64	9.59
Almoguera	9.03	8.85	8.18	9.98	11.23	13.87	16.34	15.28	14.55	13.97	11.69	9.63
Aranjuez	9.09	8.91	8.21	10.08	11.32	13.95	16.72	15.41	14.66	14.07	11.76	9.69

En las tablas 4.10, 4.11 y 4.12 se presentan los resultados obtenidos con el percentil de superación 5%. La tabla 4.10 corresponde a la serie completa, de 1953-54 a 2017-18, la tabla 4.11 corresponde a la serie PPHT, de 1980-81 a 2017-18 y la tabla 4.12 corresponde a la serie corta, de 1998-99 a 2017-18.

Tabla 4.10: Caudales ecológicos (m^3/s), calculados por el método de percentiles mensuales para el percentil de superación 5% considerando la serie 1953-54 a 2017-18

Denominación	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Trillo	4.15	4.28	4.99	5.57	5.65	6.00	6.74	6.74	5.49	4.55	4.16	4.16
Entrepeñas	5.24	5.00	4.52	5.60	6.22	7.23	7.74	8.42	7.92	6.95	5.28	5.06
Buendía	3.60	3.55	3.35	4.14	5.10	6.20	6.48	6.57	6.22	6.45	5.40	3.45
Ent-Bue	9.16	8.78	8.59	10.63	12.52	13.79	14.24	15.14	14.30	13.79	11.33	9.11
Bolarque	9.22	8.82	8.87	10.67	12.59	13.82	14.32	15.17	14.32	13.83	11.34	9.15
Almoguera	9.27	8.85	8.94	10.75	12.69	13.87	14.43	15.19	14.36	13.91	11.40	9.20
Aranjuez	9.41	9.02	9.02	10.88	12.83	13.95	14.55	15.23	14.43	14.07	11.46	9.26

Tabla 4.11: Caudales ecológicos (m^3/s), calculados por el método de percentiles mensuales para el percentil de superación 5% considerando la serie 1980-81 a 2017-18

Denominación	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Trillo	3.66	3.75	4.28	5.57	5.56	5.52	6.04	6.24	4.99	4.25	3.73	4.12
Entrepeñas	4.88	4.50	4.39	5.27	6.05	7.12	7.34	8.02	6.77	6.32	5.10	4.94
Buendía	3.13	3.43	3.31	4.14	4.58	5.89	6.01	6.44	6.04	6.45	5.14	3.03
Ent-Bue	8.37	8.51	7.69	9.58	10.75	13.42	13.26	14.56	13.82	13.44	11.30	8.16
Bolarque	8.40	8.55	7.71	9.67	10.81	13.71	13.28	14.59	13.84	13.47	11.34	8.20
Almoguera	8.43	8.69	7.73	9.81	10.87	13.75	13.31	14.64	13.88	13.51	11.40	8.25
Aranjuez	8.47	8.87	7.78	9.97	11.14	13.81	13.48	14.71	13.95	13.61	11.46	8.31

Tabla 4.12: Caudales ecológicos (m^3/s), calculados por el método de percentiles mensuales para el percentil de superación 5% considerando la serie 1998-99 a 2017-18

Denominación	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep
Trillo	3.86	4.27	4.40	4.92	5.49	5.38	5.69	5.52	4.58	3.74	3.49	3.60
Entrepeñas	4.42	4.74	4.39	5.00	5.95	6.46	7.39	7.75	6.54	5.88	4.91	4.71
Buendía	2.83	3.18	3.21	3.81	4.33	4.67	6.56	6.05	5.58	6.13	4.93	3.44
Ent-Bue	7.25	7.92	7.69	8.81	10.38	11.49	14.24	14.00	13.34	13.25	10.41	8.35
Bolarque	7.26	7.93	7.71	8.89	10.44	11.52	14.28	14.03	13.36	13.29	10.42	8.36
Almoguera	7.28	7.94	7.73	9.02	10.50	11.56	14.34	14.08	13.39	13.36	10.45	8.38
Aranjuez	7.31	7.98	7.78	9.16	10.58	11.62	14.42	14.15	13.46	13.44	10.49	8.42

Análisis de la influencia de la duración de la serie

Como se ha constatado en el capítulo 3, las series de caudal presentan una gran variabilidad, por lo que el resultado es muy sensible a periodo de tiempo sobre el que se realiza el cálculo. La Instrucción de Planificación Hidrológica establece un periodo mínimo de 20 años, que incluya años húmedos y secos. En los emplazamientos analizados se dispone de 65 años de datos hidrológicos completos. Por tanto, es posible realizar el cálculo sobre un gran número de periodos de análisis.

En este apartado se comparan los resultados obtenidos al variar el periodo de análisis. Para ello, se han calculado los caudales ecológicos en función del año de comienzo de la serie de cálculo, comenzando en el primer año disponible, 1953-54 y terminando en el último año que permite disponer de una serie de 20 años, 1998-99.

A continuación, se presentan unos gráficos comparativos que incluyen los resultados obtenidos por los distintos métodos de cálculo con las series en Almoguera y Aranjuez. Las otras series proporcionan resultados similares. s analizadas. La figura 4.14 presenta los resultados para los métodos basados en variables móviles de centralización y la figura 4.15 presenta los resultados de los métodos de percentiles. En el caso de los percentiles mensuales, se han representado los valore obtenidos con el mes más húmedo y con el mes más seco. En los gráficos se ha marcado el año 1980, que corresponde al inicio de la serie empleada en el PPHT.

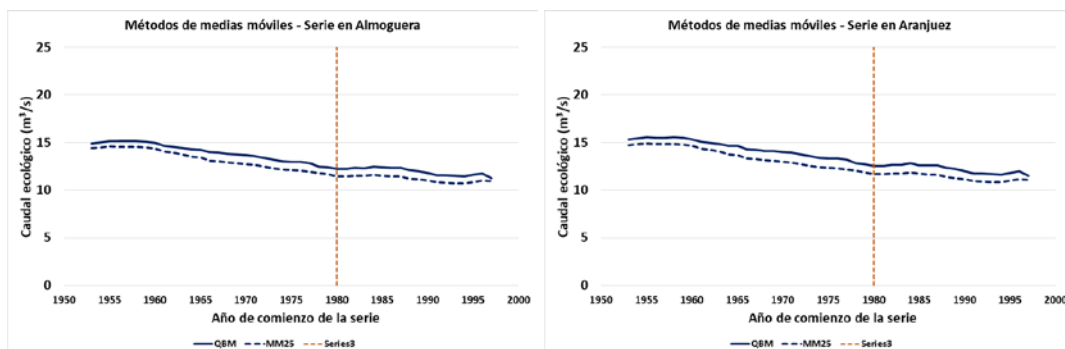


Figura 4.14. Valores de caudal ecológico obtenidos por los métodos de medias móviles en Almoguer (izquierda) y Aranjuez (derecha) en función del año de comienzo de la serie.

En la figura 4.14 se constata que los dos métodos basados en variables móviles de centralización proporcionan resultados muy similares. Se aprecia una clara tendencia decreciente a medida que se comienza el análisis más tarde para las dos series de datos comparadas, ya que todas las líneas resultan aproximadamente paralelas. Los valores que se obtienen con el método del caudal básico de mantenimiento son mayores que los que proporciona el método de la media móvil de 25 días.

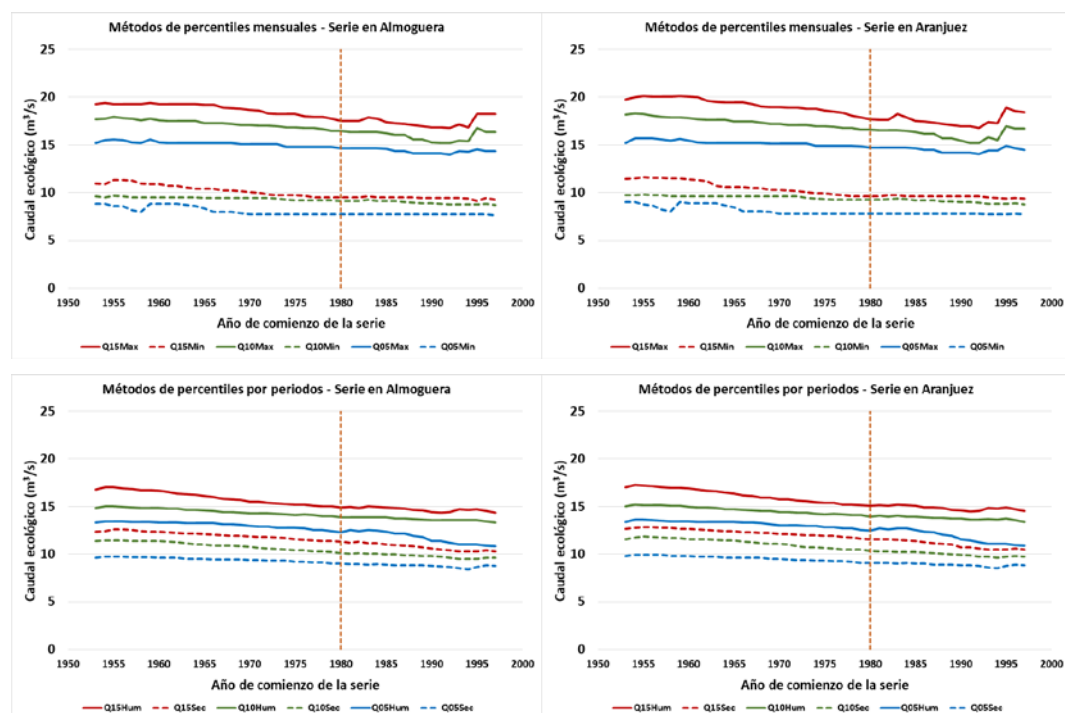


Figura 4.15. Valores de caudal ecológico obtenidos por los métodos de percentiles en Almoguer (izquierda) y Aranjuez (derecha) en función del año de comienzo de la serie. Arriba: Percentiles mensuales. Abajo: Percentiles por periodos.

En la figura 4.15 se observa también una tendencia decreciente, pero resulta menos acusada. Los valores correspondientes a la escala mensual son más irregulares que los correspondientes a periodos, ya que se presentan los casos extremos (mes más



húmedo y mes más seco). También se aprecia que el percentil 5% es más estable a lo largo del tiempo y produce menos dispersión entre series que el 15%.

La reducción entre los valores obtenidos con la serie “PPHT” y la serie “larga” está en torno al 20% para los métodos de medias móviles y entre el 7% y el 10% para el método de percentiles por periodos, correspondiendo la menor reducción al percentil más bajo. En el caso de percentiles a escala mensual, los resultados presentan más variabilidad. Si se comparan los valores obtenidos con la serie corta con los obtenidos con la serie de los últimos 20 años (1998-99 a 2017-18), se produce una reducción adicional entre un 4% y un 8%.



5. CÁLCULO POR MÉTODOS HIDROBIOLÓGICOS

En este apartado se presentan los cálculos de caudales ecológicos mínimos por métodos hidrobiológicos, también conocidos como métodos de simulación de hábitat. Estos métodos suponen un trabajo de campo intenso, que está fuera del alcance de este trabajo. Por ello, se han tomado los datos de los trabajos de campo realizados sobre distintos tramos entre Bolarque y Aranjuez, y se han obtenido los resultados con las nuevas series hidrológica.

Como ejemplo para ilustrar la aplicación de estos métodos se han tomado los resultados obtenidos en el Plan Hidrológico del Tajo 2009 para el tramo analizado en Almoguera, que están descritos 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.

Metodología de análisis

El cálculo de caudales ecológicos por métodos hidrobiológicos se basa en el análisis del hábitat disponible en el tramo para distintas especies de peces, denominadas especies objetivo. El hábitat disponible se caracteriza a partir de unas curvas de preferencia de hábitat, donde se expresan las condiciones hidrodinámicas (calado y velocidad) y de sustrato que son adecuadas para el desarrollo de cada especie.

Las curvas de preferencia de hábitat empleadas en los estudios del Plan Hidrológico del Tajo 2009 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 la figura 5.1 se muestran, como ejemplo, las curvas de preferencia de hábitat correspondientes al barbo adulto.

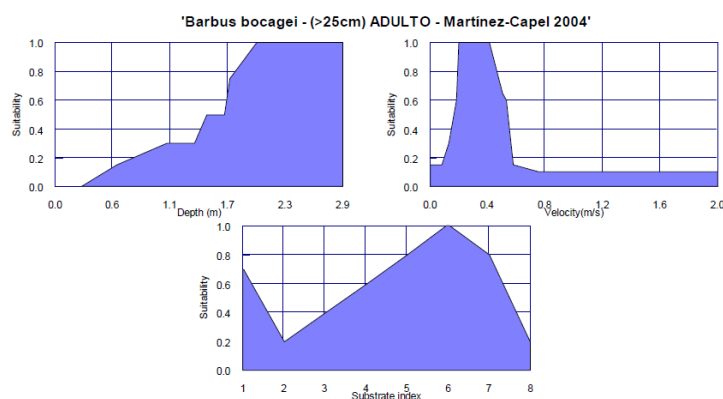


Figura 5.1. Curvas de preferencia de hábitat para el barbo adulto (tomada del PHT 2009)

Para la aplicación del método debe construirse un modelo hidrodinámico del tramo en estudio, con la finalidad de obtener la distribución de calados y velocidades sobre los distintos tipos de sustrato en función del caudal. Para ello se realiza una visita de campo al tramo, en la que se analiza el sustrato y se toman datos geométricos y de caudal circulante. Con estos datos, se aplica un software, como RHYHABSIM, que es un modelo 1D, o RIVER2D, que es un modelo 2D, para simular las condiciones hidráulicas con distintos caudales.

A partir de los resultados de las simulaciones se analiza la disponibilidad de hábitat de las especies objetivo, aplicando las curvas de preferencia de hábitat de cada especie. El resultado es un conjunto de curvas de hábitat potencial útil en función del caudal. Por ejemplo, en la figura 5.2 se muestran los resultados de la simulación de hábitat de las especies presentes en la masa de agua analizada en Almoguera (barbo, cacho, boga y bermejuela).

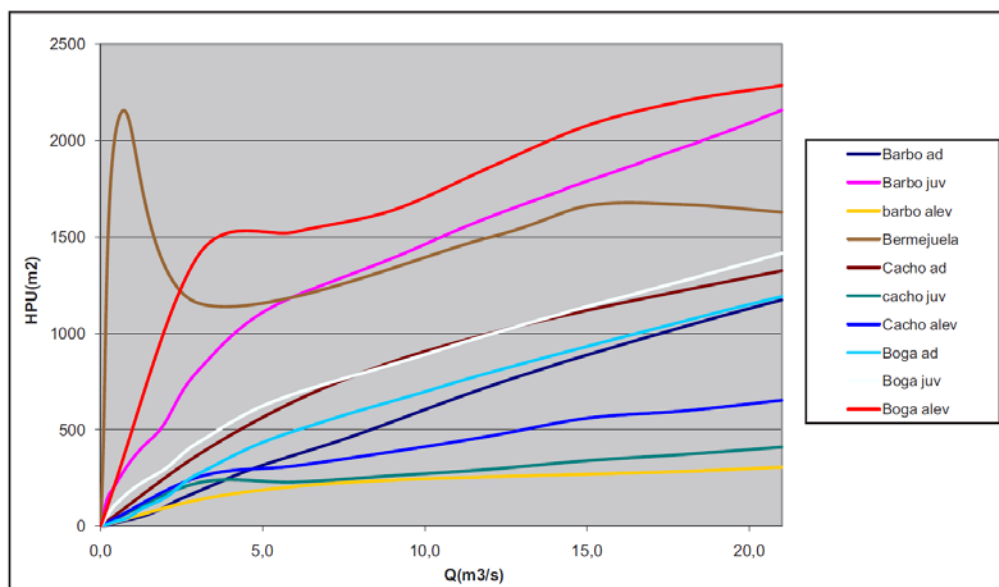


Figura 5.2. Resultado de la simulación de hábitat de las especies presentes en la masa de agua 0105021. Tomada del PHT 2009-15.

Se considera que el 100% de hábitat potencial útil corresponde al máximo de las curvas o al punto de cambio de pendiente. Si las curvas son crecientes y no muestran un máximo aparente, la Instrucción de Planificación Hidrológica establece que el máximo del hábitat potencial útil corresponderá al disponible para un caudal igual a un percentil entre el 10% y el 25% de la distribución de caudales mensuales.

En el ejemplo de Almoguera, 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% de la distribución de la serie de referencia. La figura 5.3 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.

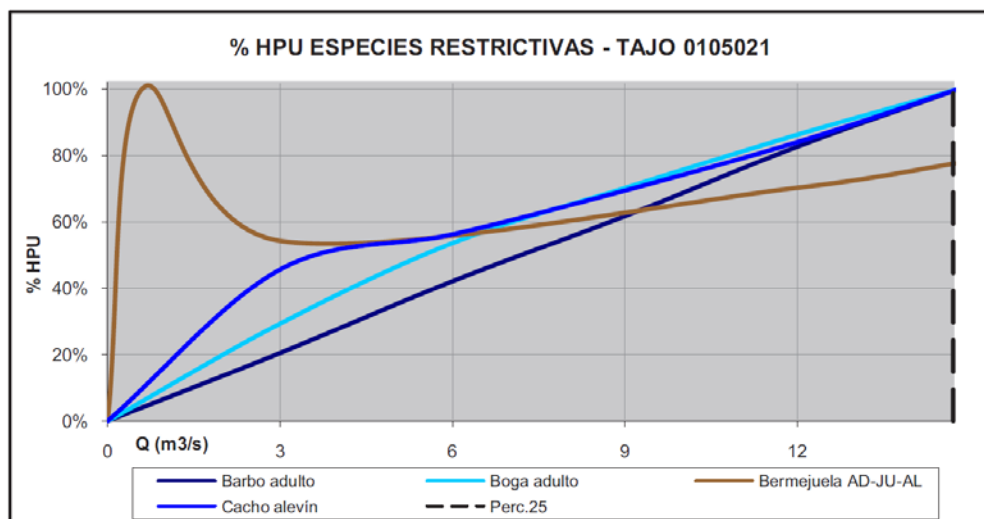


Figura 5.3. Curvas de disponibilidad de hábitat potencial útil en función del caudal para las especies más restrictivas de la masa de agua 0105021. Tomada del PHT 2009-15.

Los valores numéricos de disponibilidad de hábitat potencial útil en función del caudal se obtienen interpolando en estas curvas los caudales correspondientes al porcentaje deseado de hábitat potencial útil. Los resultados de Almoguera se presentan en la figura 5.4. Según el criterio empleado en el PHT 2009 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 m³/s.

ESTADIO	BARBO ADULTO	CACHO ALEVÍN	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 5.4. 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.

Tramos analizados y datos disponibles

El análisis realizado ha consistido en recopilar la información sobre curvas hábitat-caudal en los estudios realizados en tramos del río Tajo situados entre Bolarque y Aranjuez. Los tramos analizados se presentan esquemáticamente en la figura 5.5 y en la tabla 1.1. En el Plan Hidrológico del Tajo de 2009 se analizaron dos tramos, uno en Almoguera y otro junto a Aranjuez. Estos tramos se han identificado como CHT-1 y CHT-2. La empresa ICA realizó dos estudios, uno en 2013 y otro en 2019. En el estudio de

2013 analizó cuatro tramos, que se han identificado como ICA-1, ICA-2, ICA-3 e ICA-4. En el estudio de 2019 volvió a analizar el tramo ICA-1, volviendo a calcular las curvas hábitat-caudal, por lo que esta nueva versión del análisis se denomina ICA-1b.

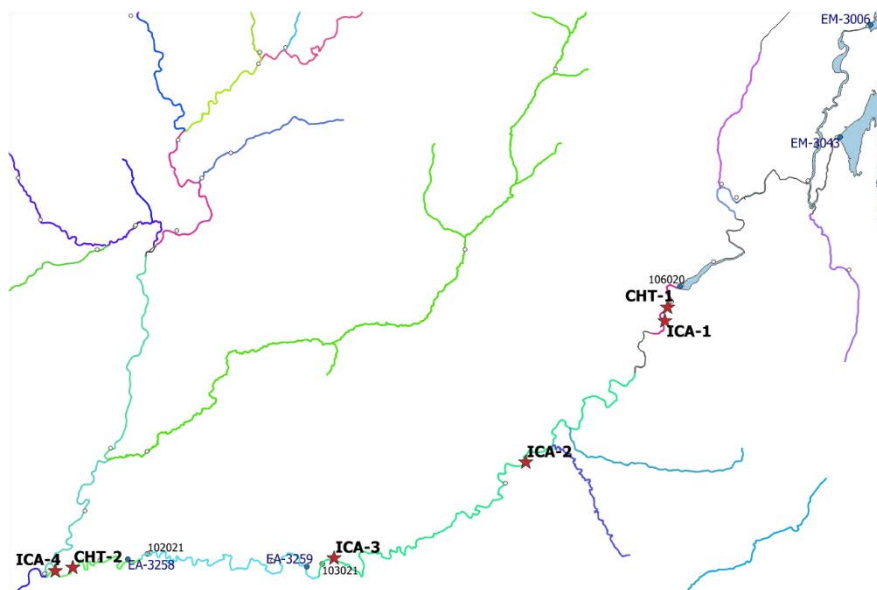


Figura 5.5. Emplazamiento de los tramos analizados en este trabajo.

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 Almoguera y Aranjuez, respectivamente. Para los tramos ICA-2 e ICA-3 se ha obtenido la serie de SIMPA correspondiente a esos puntos y se ha aplicado una proporción con los valores disponibles en Almoguera y Aranjuez, definiendo los coeficientes a partir de la relación entre los caudales medios de la serie de SIMPA.

Tabla 5.1: Tramos analizados en este trabajo.

Tramo	Coord X (m)	Coord Y (m)	Dist (km)	Long (m)	Año	Especie
CHT-1	502454	4456424	6.13	177	2009	Barbo común (barbus bocagei)
ICA-1	502166	4455158	26.4	357	2013	Barbo común (barbus bocagei)
ICA-1b	502166	4455158	26.4	357	2019	Barbo común (barbus bocagei)
ICA-2	489213	4442003	51.7	182	2013	Boga (chondostroma polylepis)
ICA-3	471399	4433117	77.3	182	2013	Barbo común (barbus bocagei)
CHT-2	447081	4432227	109.4	440	2009	Barbo común (barbus bocagei)
ICA-4	445485	4431911	111.6	182	2013	Barbo común (barbus bocagei)

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. Cuando estas curvas no presentaban un máximo en un rango

razonable de caudales, se ha supuesto que el 100% del Hábitat Potencial Útil (HPU) corresponde a un percentil comprendido entre el 10% y el 25% de la serie hidrológica de referencia. El criterio adoptado por CHT en los cálculos realizados en Aranjuez y Almoguera fue adoptar el percentil 25%, aunque en otros emplazamientos se seleccionaron percentiles inferiores.

Se han realizado cálculos considerando un análisis único para todo el año, que es la opción adoptada en los cálculos del Plan Hidrológico 2009. Para simplificar, el 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 han hecho cuatro hipótesis tomando valores iguales a los percentiles 10%, 15%, 20% y 25% de la serie diaria de referencia. De esta manera, se cubre el rango previsto por la Instrucción de Planificación Hidrológica en este parámetro.

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. Los estadísticos representativos de las series hidrológicas disponibles en ese punto se presentan en la tabla 5.2.

Tabla 5.2: Estadísticos representativos de las series disponibles en los tramos CHT-1, ICA-1 e ICA-1b, calculados sobre los tres periodos de análisis.

Estadístico	1953-54 a 2017-18	1980-81 a 2017-18	1998-99 a 2017-18
Media (m ³ /s)	35.67	27.41	25.89
Mediana (m ³ /s)	23.47	19.01	17.57
Máximo (m ³ /s)	776.30	467.94	346.88
Mínimo (m ³ /s)	4.43	5.70	6.09
Desviación Estándar (m ³ /s)	37.90	26.59	25.49
Coefficiente de Variación	1.06	0.97	0.98
Percentil 5% (m ³ /s)	10.72	9.87	9.31
Percentil 10% (m ³ /s)	12.59	11.40	10.40
Percentil 15% (m ³ /s)	13.97	12.58	11.39
Percentil 20% (m ³ /s)	15.11	13.56	12.37
Percentil 25% (m ³ /s)	16.32	14.39	13.31
Percentil 75% (m ³ /s)	38.92	29.62	28.16

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 5.6, tomada de dicho documento, se muestran las curvas calculadas en su momento para el barbo común.

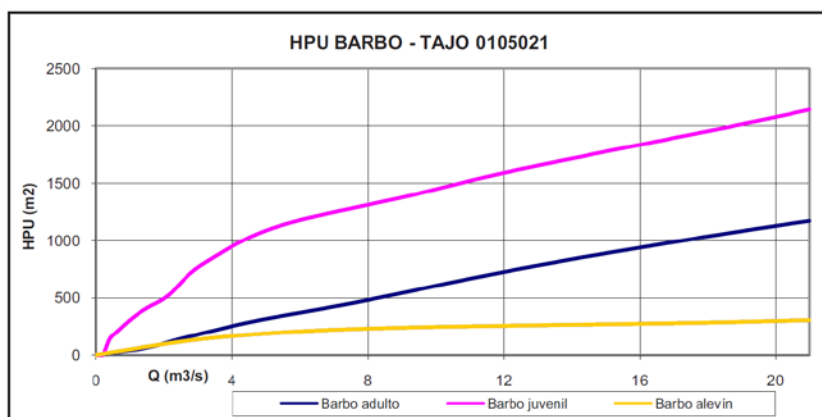


Figura 5.6. Curvas de disponibilidad de hábitat en la masa 0105021 Almoguera para el barbo común, según modelación de hábitat realizada en el PHT 2009.

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. Los resultados se presentan en la figura 5.7, que muestra las curvas de hábitat potencial útil en función del caudal para barbo adulto, barbo juvenil y barbo alevín. Ninguna de estas curvas presenta un máximo aparente en el rango de caudales analizado, que supera ligeramente los 20 m³/s.

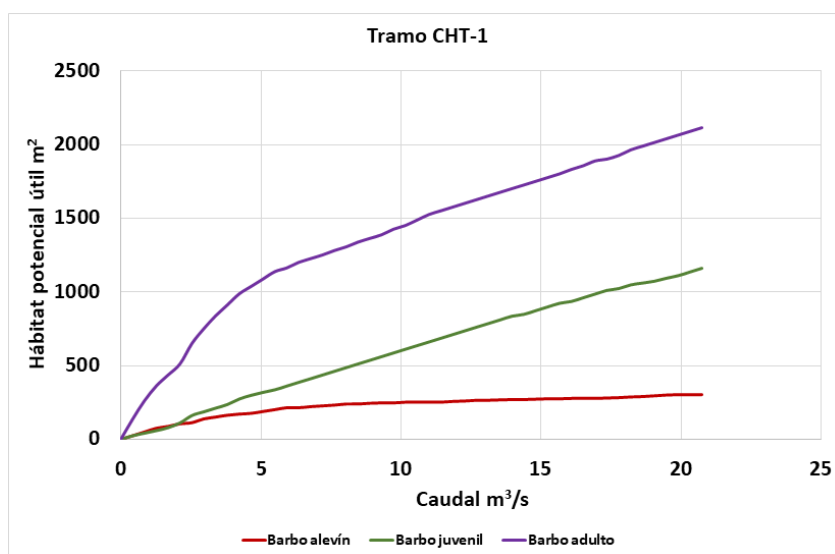


Figura 5.7. Curvas de disponibilidad de hábitat en el tramo CHT-1.

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 a un percentil 10%, 15%, 20% o 25% de las distintas series de caudales consideradas. Los resultados obtenidos se presentan con detalle en el Apéndice 2, "Resultados gráficos del cálculo de caudal ecológico por métodos hidrobiológicos". En la figura 5.8 se muestran las curvas que corresponden al 100% de hábitat potencial útil determinado por el percentil 25% de la distribución de caudales de la serie 1953-54 a 2017-18 (arriba a la izquierda), la serie 1980-81 a 2017-18 (arriba a la derecha) y la serie 1998-99 a 2017-18 (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 juvenil en todos los casos.

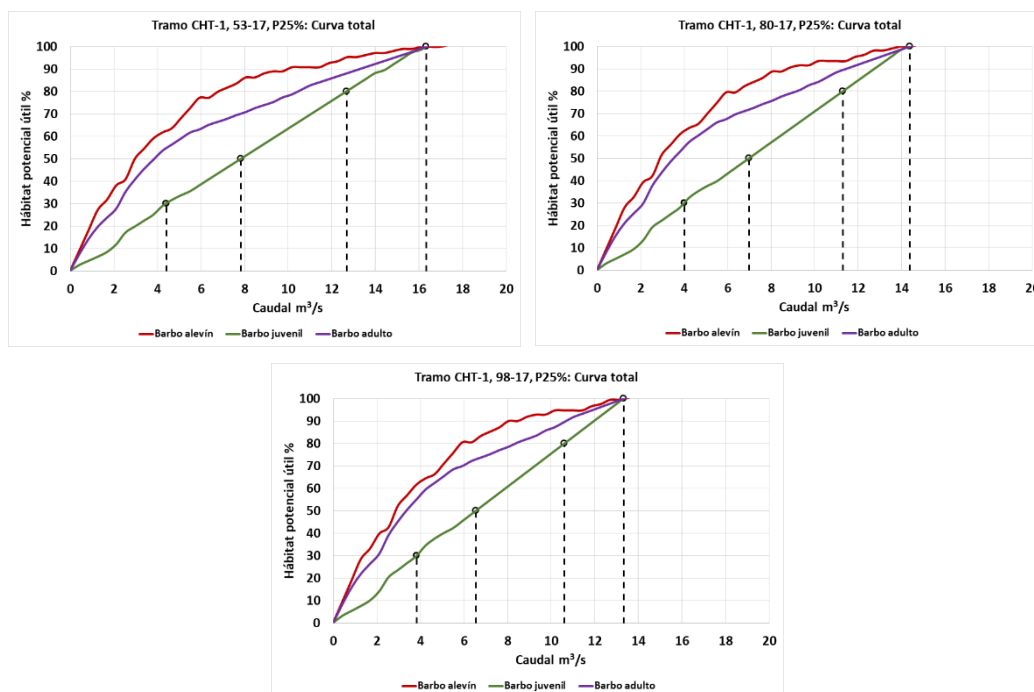


Figura 5.8. Curvas de % de hábitat potencial útil en el tramo CHT-1 deducidas del percentil 25% de distintas series. Arriba: valor correspondiente 1953-54 a 2017-18 (izquierda) y 1980-81 a 2017-18 (derecha). Abajo: 1998-99 a 2017-18.

Los valores que resultan del cálculo en los doce casos analizados se presentan en la tabla 5.3. Partiendo de las distribuciones de las series disponibles y adoptando el criterio del 50% del hábitat potencial útil cuando el 100% del HPU corresponde al percentil 25%, el caudal ecológico mínimo anual en el tramo está comprendido entre 7,84 m³/s, que resulta para la serie completa, y 6,55 m³/s, que resulta para la serie más reciente de 20 años de duración.

Tabla 5.3: 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 (m ³ /s)	Caudal (m ³ /s)	Caudal (m ³ /s)	Caudal (m ³ /s)
Serie 1953-54 a 2017-18	Percentil 10%	3.63	6.19	10.03	12.59
	Percentil 15%	3.97	6.88	11.13	13.97
	Percentil 20%	4.15	7.34	11.87	15.11
	Percentil 25%	4.41	7.84	12.68	16.32
Serie 1980-81 a 2017-18	Percentil 10%	3.27	5.60	9.08	11.40
	Percentil 15%	3.63	6.18	10.02	12.58
	Percentil 20%	3.88	6.67	10.81	13.56
	Percentil 25%	4.01	6.99	11.31	14.39
Serie 1998-99 a 2017-18	Percentil 10%	2.97	4.94	8.28	10.40
	Percentil 15%	3.27	5.59	9.07	11.39
	Percentil 20%	3.56	6.08	9.85	12.37
	Percentil 25%	3.84	6.55	10.61	13.31

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 5.2. 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 5.9, que muestra las curvas de hábitat potencial útil en función del caudal para barbo adulto, barbo juvenil y barbo alevín. Ninguna de estas curvas presenta un máximo aparente en el rango de caudales analizado, que llega hasta los 60 m³/s.

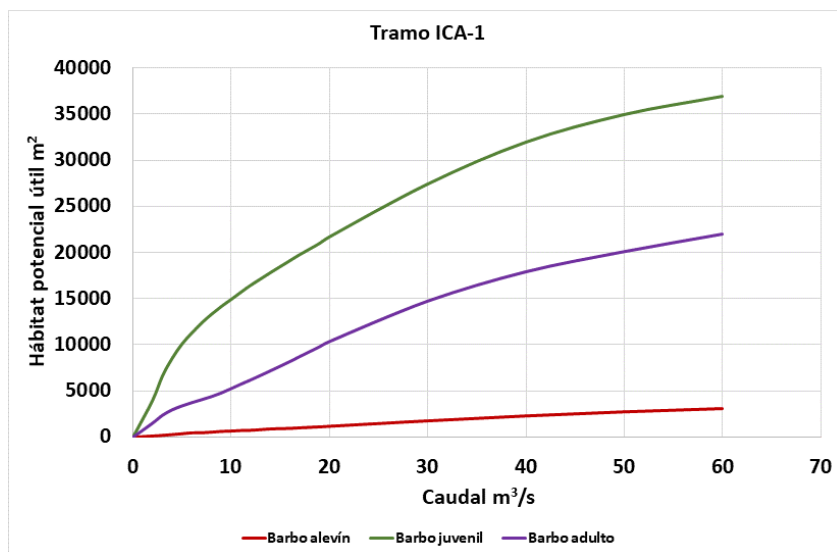


Figura 5.9. Curvas de disponibilidad de hábitat en el tramo ICA-1.