

Morfología del río Ebro en el estiaje de 1863 y deducción de un caudal mínimo

Morphology of the River Ebro during the low flow period of 1963 and calculation of minimum flow

Sergi Capapé Miralles. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
E.T.S de Ing. de Caminos, C. y P. UPC. Barcelona (España). sergi.capape@upc.edu
Juan Pedro Marín Vide. Dr. Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
E.T.S de Ing. de Caminos, C. y P. UPC. Barcelona (España). vide@grahi.upc.edu

Resumen: La transformación del territorio fluvial ha sido una constante desde los primeros asentamientos en las orillas de los ríos. El trabajo realizado en 1863 por De Mesa Arroquia ofrece una visión del valle del Ebro cuando los grandes proyectos de presas y encauzamientos aún no se habían realizado. Los datos de los aforos en el río Ebro y sus afluentes durante su estiaje son la base de partida para analizar la geometría hidráulica mediante la teoría del régimen. Los perfiles transversales presentan unas formas alargadas y poco profundas, que maximizan el perímetro mojado. Éste, a su vez, es utilizado para calcular un caudal mínimo ambiental. Para el Ebro por debajo de todos sus afluentes resulta 100 m³/s, es decir el actualmente considerado sin un criterio objetivo.

Palabras Clave: Ebro; Reconocimiento hidrológico; Geometría hidráulica; Teoría del régimen; Caudal mínimo

Abstract: There has been a constant transformation of the river territory ever since the first settlements on the banks of the rivers. The study conducted by De Mesa Arroquia in 1863 gives an idea of the Ebro valley long before the large dam and channelling projects had even been carried out. The gauging of the River Ebro and its tributaries during low flow periods serve as the basis to analyse the hydraulic geometry by regime theory. The cross-sectional areas have elongated and relatively shallow forms, that maximise the wet perimeter. This is, in turn, used to calculate the minimum environmental flow. In the case of the Ebro and at the bottom of all its tributaries this was calculated at 100m³/s, that is to say the figure currently considered without an objective criteria.

Keywords: Ebro; Hydrological survey; Hydraulic geometry; Regime theory; Minimum flow

1. Introducción

Han pasado casi 150 años desde el primer reconocimiento hidrológico del valle del Ebro, cuenca actualmente a la espera de la aprobación de un nuevo Plan Hidrológico, realizado bajo la supervisión del Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos D. Pedro Antonio De Mesa Arroquia (Jódar 1826 – Madrid 1875).

De Mesa ostenta un extenso currículum vitae en el que destacan su colaboración en la creación de nuevas líneas en el incipiente ferrocarril español, el diseño y ejecución del puerto de Gijón y su posición como *Jefe de la Brigada Hidrológica de la Junta General de Estadística* (1), desde donde impulsó los estudios hidrográficos en el estado español a pesar de la limitación de los recursos presupuestarios (2), finalizando los pio-

neros reconocimientos de los ríos Guadalquivir, Ebro, Duero y Guadiana y siendo felicitado por ello en la Revista de Obras Públicas (3).

En julio de 1863 el *ingeniero-jefe* De Mesa y su brigada emprendieron en el arroyo Trisuerra de Cantabria el periplo que finalizaría, presumiblemente en octubre del mismo año, en la desembocadura del Ebro. Recorrieron alrededor de cinco mil kilómetros a caballo y mula conciliando la necesidad de seguir el curso del río por los márgenes con las escasas vías de comunicación de la época (4).

En unos años de relativa bonanza correspondientes al gobierno largo de O'Donnell (1858-1863), la presión que el gobierno recibía para dar concesiones hidráulicas era cada vez mayor debido, en gran parte, al aumento de la importancia del agua para el rega-



Fig. 1. Antiguo pueblo de Mequinzena en 1928 antes de la construcción de la presa que lo inundaría. Fotografía: (7).

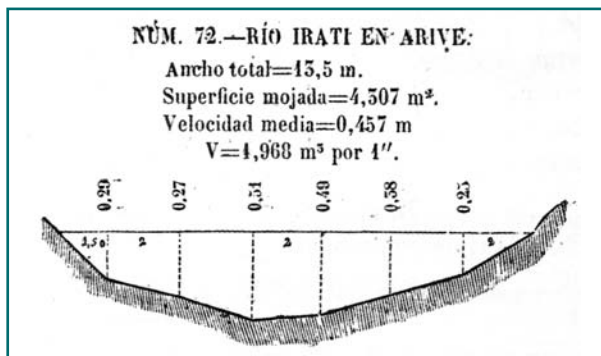


Fig. 2. Dibujo del perfil transversal del río Irati, afluente del Ebro en la región media, a su paso por Arive (Navarra) tal y como aparece en la memoria del reconocimiento de 1863. Por cierto, sus dimensiones concuerdan con el promedio de las 148 secciones. Esto se utilizará más adelante. Fuente: (6)

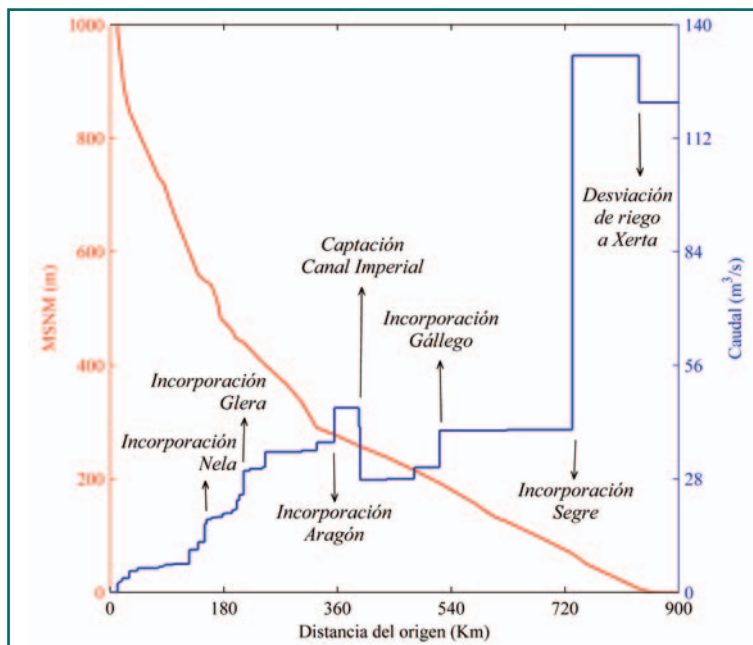


Fig.3. Evolución del perfil longitudinal (rojo) y del caudal medido en el estiaje de 1863 por De Mesa (azul). Fuente: elaboración propia a partir de (6).

dío y el abastecimiento de la población (5). No es de extrañar, pues, que en el estudio de De Mesa destaquen los datos de la riqueza de agua susceptible de ser aprovechada para evitar que se “pierda improproductivamente en la mar” (6). De hecho, ya algunos ríos cedían toda el agua que llevaban por la demanda de las huertas (6).

El trabajo de 1863 presenta la morfología de un río Ebro casi prístino, en múltiples puntos radicalmente distinto del actual (figura 1). Por tanto, el documento ofrece una oportunidad única de tratar el río Ebro y la cuenca que lo nutre desde un punto de vista que ningún estudio actual podría adoptar. Esto ha sido un gran estímulo para el análisis de la morfología fluvial del Ebro a pesar de algunas carencias en los datos. De Mesa documentó algunas actuaciones relevantes como esclusas y derivaciones, los encauzamientos a su paso por las principales ciudades, algunos puentes y las obras locales de dragado para facilitar la navegabilidad (6).

En la memoria se recogieron datos de multitud de aforos de caudal (tantos como 231) repartidos por toda la cuenca. Solamente los considerados más genuinos (148) se acompañaron con la representación detallada de las formas y dimensiones de sus superficies mojadas –tomadas mediante un sistema de cuerdas y lastres- y de un valor de la velocidad media del flujo –empleando el método del flotador (6). La figura 2 es un ejemplo de la representación de los datos. Además incluye un mapa del perfil longitudinal del Ebro (cuyo análisis se sintetiza en la figura 3 junto a la evolución de los caudales medidos) y otro que es, posiblemente, el primer mapa en que se representa la cuenca del Ebro como tal (4).

Aunque la metodología utilizada para el trabajo tratase de evitar errores de bulto con la comprobación sistemática de los caudales aforados, no pueden soslayarse posibles errores en las mediciones. No obstante, los caudales medidos por De Mesa se encuentran dentro de un intervalo razonable respecto a los datos de la Red Oficial de Estaciones de Aforo antes de la construcción de los grandes embalses (4).

Toda la información se ciñe al periodo de estiaje (época de aguas bajas), circunstancia alejada de los intereses de la ingeniería fluvial en la que es el caudal dominante o formativo (el que llena el cauce como primera aproximación) el principal responsable de la morfología de los ríos (8). No obstante, es igualmente atractivo el análisis de los datos utilizando conceptos

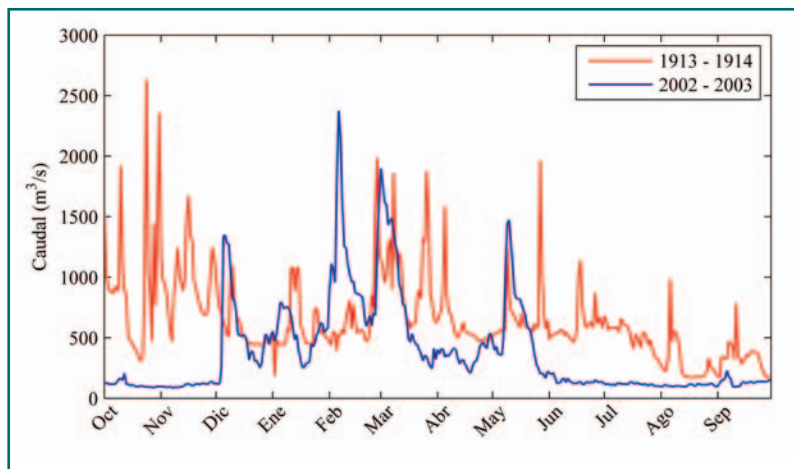


Fig.4. Hidrogramas de los años hidrológicos 1913-1914 (verde) y 2002-2003 (rojo) del río Ebro a su paso por la estación de aforos de Tortosa. Observar la disminución en la variabilidad de los caudales. Fuente: (10).

de la teoría del régimen, que es el conjunto de conocimientos más o menos empíricos sobre geometría hidráulica de las secciones de los ríos que han llegado a un estado de equilibrio dinámico, condición que seguramente se satisfacía en el valle del Ebro de 1863.

No hay que olvidar la realidad de una débil presión antrópica sobre los sistemas fluviales peninsulares en el siglo XIX, siendo válida la sentencia de que los ríos circulaban con su régimen natural. Hoy en día la situación es opuesta ya que existe una intensa regulación en la cuenca del Ebro (9), como se observa en el mismo río Ebro una vez superado el complejo de los embalses de Mequinenza, Ribarroja y Flix. De este modo en la figura 4, más allá de la disminución en el derrame, se hace notar el cambio en la variabilidad de los caudales en la estación de aforos de Tortosa. Por suerte, la preservación o la recuperación de los regímenes naturales hacen mella en las nuevas normativas, tanto de ámbito estatal como internacional, e impulsan un nuevo estilo de gestión del agua (11).

2. Análisis de la geometría hidráulica

Como punto de partida del análisis de la morfología del río, supongamos que los aforos de 1863 correspondían al caudal dominante en cada sección. En tal caso, ¿explicarían las fórmulas de teoría del régimen, válidas para el caudal dominante, las secciones del Ebro de 1863 a pesar de haberse medido en estiaje?

Clásicamente, una relación de régimen presenta un aspecto afín a $\Gamma = m \cdot Q^n$ (fórmula 1), donde Γ simboliza cualquiera de las variables empleadas en la caracterización de cauces (básicamente cuatro: la

anchura del cauce B , calado y , velocidad media v_m y pendiente longitudinal S), Q es el caudal y m y n son los coeficientes a calibrar.

Desde la primera relación obtenida por Kennedy a partir de observaciones realizadas en canales de regadío sobre arena limosa en India a finales del siglo XIX, la teoría ha sido regularmente revisada y perfeccionada (nuevos datos, mejores calibraciones, mayor intervalo de aplicabilidad, etc.) aunque aún se está lejos de poder disponer de fórmulas universales. En este estudio se tratan cuatro metodologías: el método semiempírico de Altunin (1962) (12), el completamente empírico de Simons y Albertson (1863) (12), las sencillas relaciones semiempíricas de Lee y Julien (2006) (13, 14) y, por último, el análisis dimensionalmente homogéneo y adimensional de Parker *et al.* (2007) (15).

Los datos de 148 aforos (anchura, calado medio, velocidad media y pendiente, como por ejemplo la figura 2) se han comparado con los resultados obtenidos por los métodos antes mencionados. El mejor ajuste se ha obtenido con Altunin y Lee y Julien. Mientras el segundo método tan solo requiere la introducción de unos valores de caudal, tamaño del sedimento del cauce y pendiente, Altunin precisa definir *a priori* una lista de variables particulares del método entre las que destaca una constante relacionada con la erosionabilidad de los materiales aluviales. Para la máxima erosionabilidad, los resultados se ajustan mejor con los valores reales del reconocimiento de 1863.

Es interesante resaltar que los exponentes n del caudal (ver fórmula 1) en las expresiones de los métodos de Altunin, y de Lee y Julien, así como los ajustados por regresión con los datos del valle del Ebro de 1863 (figura 5) son similares (tabla 1). También es interesante que todos ellos son semejantes a los exponentes 0.5 para la relación $B \propto Q^n$, 0.3 para $y \propto Q^n$ y 0.2 para $v_m \propto Q^n$, los cuales provienen de la ecuación

Tabla 1. Exponentes n del caudal en las expresiones de proporcionalidad con B , y y v_m de los métodos estudiados y en las regresiones de los datos del Ebro. Fuente: (16)

	$B \propto Q^n$	$y \propto Q^n$	$v_m \propto Q^n$
Altunin (1962)	0.535	0.349	0.117
Lee i Julien (2006)	0.426	0.336	0.198
Datos de 1863	0.498	0.329	0.185

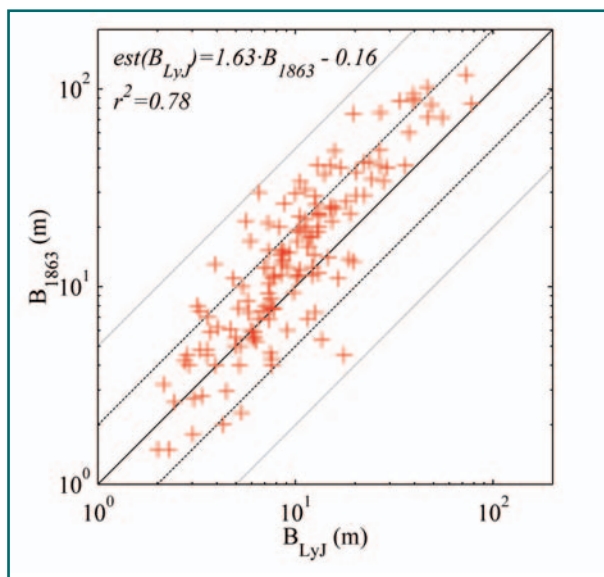
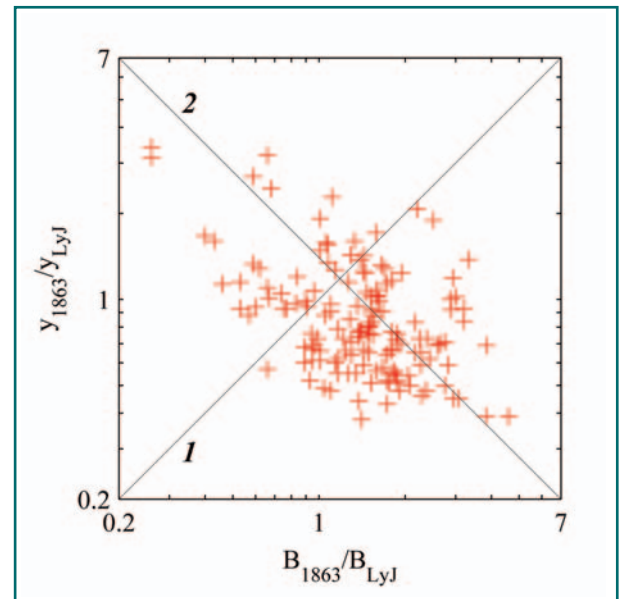
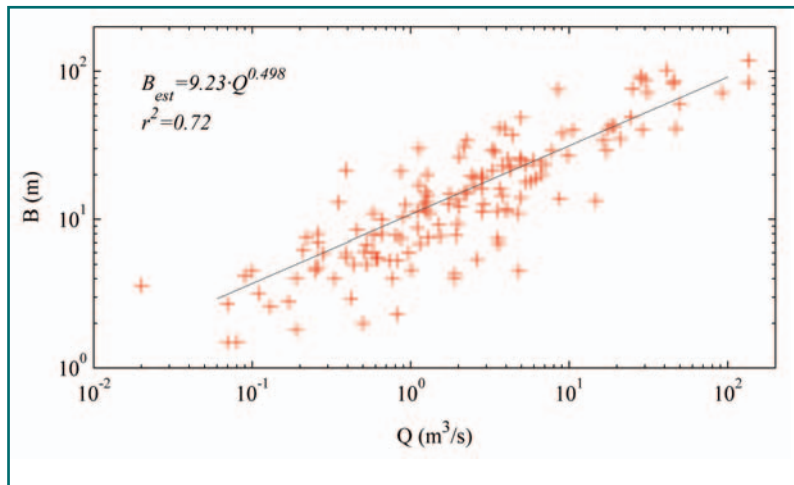


Fig. 5. Ajuste de B con Q en los 148 afloros del valle del Ebro, como ejemplo del análisis. Los ejes son logarítmicos. La recta de regresión se muestra en la gráfica (en azul) y sirve como estimación de la anchura medida. El coeficiente de determinación r^2 presenta un valor aceptable. Fuente: (16).

Figura 8. Comparación entre los cocientes B_{1863}/B_{LyJ} y y_{1863}/y_{LyJ} . Ejes logarítmicos. Fuente: (16).

de continuidad, la fórmula de Manning y la proporcionalidad $B \propto \sqrt{Q}$ (8).

La formulación de Lee y Julien es finalmente la seleccionada para profundizar en el análisis de la geometría hidráulica, tanto por su simplicidad como por su mayor aplicabilidad. La figura 6 es el ajuste de los valores de la anchura en 1863 con los obtenidos a partir de la fórmula. Para ilustrar este ajuste, la figura 7 muestra la sección transversal según esta formulación en cuanto a anchura y calado, junto con la sección del río Irati (figura 2).

Parece ser, por tanto, que la teoría del régimen en primera instancia predice globalmente la geometría del río Ebro en 1863, a pesar de que circulaba tan solo un caudal de estiaje. Sin embargo, se encontrarán matices importantes en la discusión siguiente.

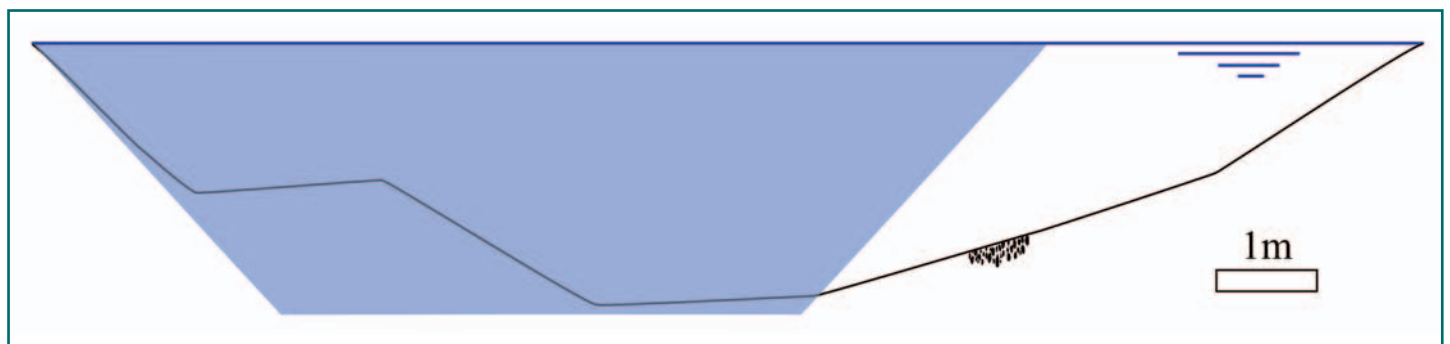


Fig. 7. Comparación de la sección según Lee y Julien (en azul) con la sección del Irati a su paso por Aribre. La escala vertical está exagerada en un factor 5. Fuente: (16).



Fig. 9. Secciones transversales homotéticas. Arriba: de dimensiones más proporcionadas, la obtenida a partir de conceptos de régimen. Abajo: más parecida a lo que aforó De Mesa en 1863. Fuente: (16).

3. La geometría del río en estiaje

Se analiza con más detalle en este apartado los datos de anchura (B) y calado (y) de 1863 y sus respectivos ajustes con las fórmulas de Lee y Julien, ordenándolos de mayor a menor. De forma más precisa, la figura 8 resume la geometría hidráulica de los aforos si consideramos la proporcionada por Lee y Julien como la teórica según los conceptos de régimen.

Se observa en la figura 8 que la mayoría de puntos se concentran en el cuadrante de abscisa mayor que 1 y ordenada menor que 1, o sea la anchura en 1863 es mayor que la predicha pero al mismo tiempo el calado en 1863 es menor que el predicho. En segundo lugar, la nube de puntos se ordena según la diagonal 2, es decir se observa que, de forma general, unos cocientes B_{1863}/B_{LYJ} mayores corresponden a unos cocientes y_{1863}/y_{LYJ} menores. O lo que es lo mismo, aquellas secciones aforadas por De Mesa de anchura mayor a la de Lee y Julien presentan a su vez un calado menor al de Lee y Julien. Es más, el producto $B_{1863}/B_{LYJ} \times y_{1863}/y_{LYJ}$ es aproximadamente la unidad (ajuste con diagonal 2), es decir se respeta unas áreas de flujo semejantes en 1863 y según Lee y Julien. En tercer lugar, la mayoría de puntos se sitúa a la derecha de la diagonal 1, es decir la desviación en anchura respecto a la fórmula es mayor que la desviación en calado.

Se revalida así que la mayoría de los perfiles transversales presentan un tipo de geometría ancha y somera. La imagen es la de un río mucho más ancho que profundo, tanto en la teoría del régimen (Lee y Julien) como en 1863, pero en 1863 esto es aún más acusado. En la figura 9 se han dibujado dos secciones cuya área de flujo es la misma. Las ecuaciones de Lee y Julien proporcionan unas dimensiones más parecidas a la superior (en la que además el caudal es el dominante). Por el contrario, la realidad de los aforos de 1863 es la

de secciones con una lámina de agua más parecida a la del dibujo inferior, con un caudal de estiaje.

Lo anterior, más allá de la teoría del régimen y la morfología fluvial, tiene una implicación ambiental, dado que la sección de 1863 presenta un perímetro mojado elevado. Esto se utiliza en el apartado siguiente.

4. Caudal mínimo: una paso hacia el régimen de caudales de mantenimiento

La determinación del caudal ambiental tiene que estar acompañada de la especificación de un régimen de caudales regulados que se adapte a las características del régimen natural, y no de una cifra constante. El estudio de un río aún sin regular, como el de 1863, puede servir para inferir una magnitud de los caudales mínimos circulantes, es decir, el límite inferior que se debería respetar para preservar el ecosistema. El cauce en 1863 tiene que haber sido el resultado de una evolución hasta presentar una sección –a falta de más datos- favorable para la preservación de la comunidad biótica de la zona. Así, el predominio de las secciones más anchas pero menos profundas en las que el agua circula más lentamente, aunque se haya aforado en aguas bajas, puede argumentarse como una medida de autodefensa del río en su estiaje.

Gippel y Stewardson estudian la variación del perímetro mojado con el caudal en un método global que tiene que servir para fijar un auténtico régimen de caudales regulados (17). Palau recomienda restringir la utilización de métodos hidráulicos, como el del perímetro mojado, para la definición de los caudales ambientales, pero sí los acepta como validación (11).

El método del perímetro mojado se fundamenta en la hipótesis de que la producción de nutrientes en época de estiaje puede ser uno de los factores que más influya en la capacidad de carga biótica del río.

Tabla 2. Caudales mínimos ($Q_{\text{mín } 1863}$) calculados con el método del perímetro mojado a partir de los datos de 1863 y las magnitudes de los caudales en sequía propuestos por Sánchez e Ibáñez ($Q_{\text{sequía Sel}}$) para el mes de septiembre. Fuente: (16, 20 y 21)

Río	$Q_{\text{mín } 1863}$ (m ³ /s)	$Q_{\text{sequía Sel}}$ (m ³ /s)
Ebro (Calahorra)	21.1	13.8
Ega (Andosilla)	1.4	1.4
Aragón (Liédena)	3.5	2.9
Arga (confluencia con el Aragón)	3.0	4.1
Irati (confluencia con el Salazar)	3.7	1.4
Jalón (Calatayud)	7.0	1.2
Gállego (Anzónigo)	7.4	2.7
Segre (estrecho Tres Puentes)	14.6	6.9
Noguera Pallaresa (Tresp)	23.2	6.1
Noguera Ribagorçana (Montañana)	14.7	2.1
Isábena (Biescas)	2.5	0.7
Ebro (por debajo de todos sus afluentes)	108.8	102.7 (a)

a) Es el caudal correspondiente a un año hidrológico seco.

El método asume que el hábitat para los peces está relacionado con la producción de nutrientes relacionada a su vez con el perímetro mojado (18).

La aplicación del método a unos datos como los de 1863 presenta limitaciones. La más importante es que solo se disponga del dibujo de la sección mojada sin los márgenes. Al tratarse de un "estiaje medio, y no de los más estériles que se conocen en este río" (6) se relativiza esta carencia. Otra limitación es el requerimiento de Parker *et al.* sobre la localización de las secciones aforadas, las cuales deberían pertenecer a tramos rectos en zonas sin formación de grandes remansos (19).

En la aplicación de este método se ha utilizado el régimen uniforme para calcular la evolución del perímetro mojado a medida que el caudal aumenta. La observación paciente de la curva caudal-perímetro mojado ($Q-P$) buscando el cambio de pendiente, con la ayuda de la curva auxiliar perímetro mojado-calado ($P-y$) en el caso de que en la curva anterior sea difícil de distinguir dicho cambio, permite discernir el caudal óptimo (19). La figura 10 es un ejemplo de aplicación.

5. Propuestas de caudales mínimos

Por lo valioso que resulta el agua que fluye por la cuenca del Ebro, los intentos para determinar caudales mínimos y ambientales han sido diversos. Hay que arrinconar la imposición arbitraria de valores, por ejemplo los 100 m³/s fijados en la desembocadura, apoyándose en cambio en metodologías objetivas.

Sánchez e Ibáñez utilizan el método de la *Aproximación del Intervalo de Variabilidad* (conocido como RVA) para obtener los regímenes de caudales ambientales, incluso en condiciones de sequía (20, 21). El método del RVA se fundamenta en dos principios: proteger la variabilidad de los caudales naturales para conservar el ecosistema natural y definir el régimen de caudales desde un punto de vista adaptativo (22). Los caudales durante el estiaje en condiciones de sequía, calculados mediante la metodología del RVA, son comparados con los caudales mínimos obtenidos a partir de los aforos de 1863 mediante el método del perímetro mojado. En general, éstos últimos resultan ser los mayores de los dos (tabla 2), aunque también hay coincidencias como en el caso del Ebro por debajo de todos sus afluentes principales donde además, curiosamente, De Mesa aforó un caudal de 135 m³/s casi idéntico a los 136 m³/s propuestos como

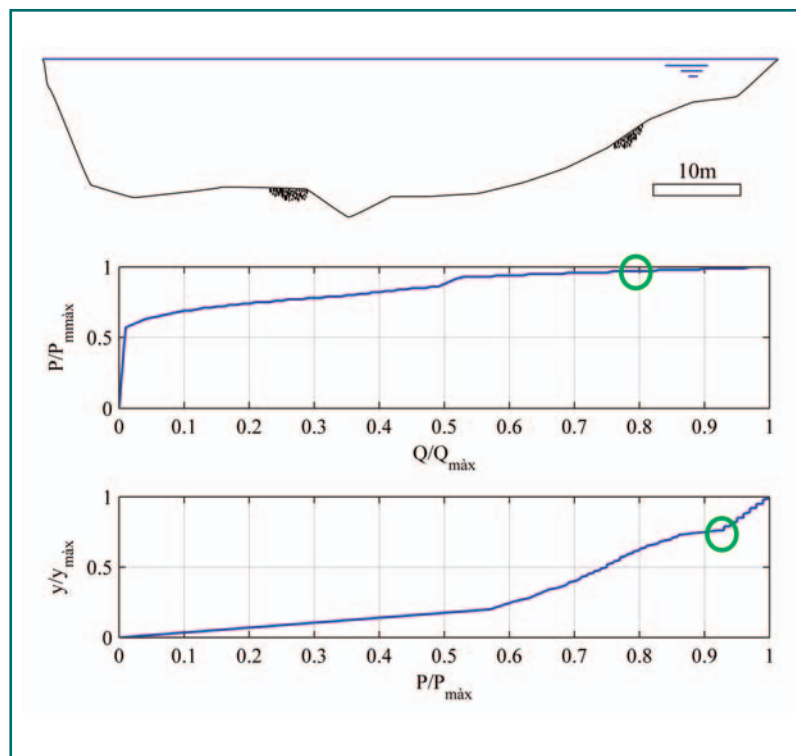


Fig. 10. Curvas Q-P y P-y normalizadas para el Ebro en Flix, por debajo de todos sus afluentes principales. El círculo verde indica el punto escogido para determinar el caudal mínimo. La escala vertical de la sección está exagerada en un factor 5. Fuente: (16).

caudal ambiental en el mes de setiembre por Sánchez e Ibáñez (20, 21).

6. Conclusión

El punto de vista único que ofrece el primer reconocimiento hidrológico de la cuenca del Ebro, aunque limitado técnicamente, permite un análisis de la geometría hidráulica durante el estiaje a partir de conceptos de régimen. Los perfiles transversales resultan, relativamente, muy anchos y poco profundos. De todas las variables, es la anchura la mejor predicha y se comprueba que es proporcional a la raíz cuadrada del caudal.

Para ayudar al establecimiento de caudales mínimos, el uso de métodos hidráulicos como el del perímetro mojado puede ser útil, debido a su simplicidad, en ríos no regulados y en tramos no modificados por el hombre. El caudal mínimo para el tramo inferior del Ebro obtenido por este método es casi idéntico al pro-

puesto por Sánchez e Ibáñez mediante el método hidrológico del RVA (20, 21). No es concluyente porque solamente se dispone del estiaje de un año para el análisis. Aun así, los datos de 1863 aprovechados mediante el método del perímetro mojado sirven de apoyo a favor del caudal mínimo (caudal ambiental en condiciones de sequía) de estos autores.

La labor pionera de De Mesa Arroquia no debe quedar en el olvido, pues es la imagen de un río y de una cuenca prístina que nunca recuperaremos.

7. Agradecimientos

Se agradece la Demarcación de Catalunya del Colegio de Caminos, Canales y Puertos por su apoyo a la investigación.

Los autores agradecen muy especialmente Rogelio Galván Plaza, de la Confederación Hidrográfica del Ebro, por su trato y su colaboración en la obtención de los datos. ♦

Referencias:

- (1) MARTÍNEZ COBO, E.; "Biografía de don Pedro Antonio de Mesa Arroquia, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos"; *Elucidario*; 2008, no 5, págs. 215-223. ISSN 1885-9658
- (2) SIERRA ÁLVAREZ, J.; "Una fuente para la geografía histórica de la industrialización española: los itinerarios fluviales, 1876-1881"; *Érica: Revista cuatrimestral de geografía*; 1996, no 39-40, págs. 74-82.
- (3) "Memoria sobre el reconocimiento hidrológico del valle del Ebro"; *Revista de Obras Públicas*; 1865, no 18, págs. 229-242. ISSN 1695-4408
- (4) GALVÁN PLAZA, R. "El reconocimiento hidrológico del valle del Ebro efectuado por Pedro Antonio de Mesa en 1863"; Zaragoza: CHE; 2009.
- (5) MORALES, J.I.M.; PIQUÉ, F.N.; GONZÁLEZ, L.U.; "Els estudis hidrològics de Pedro Antonio de Mesa (1862-1865)"; *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*; 1995, no 40, págs. 33-41. ISSN 1133-2190
- (6) DE MESA ARROQUIA, P.A.; "Reconocimiento hidrológico del valle del Ebro"; Madrid: Junta General de Estadística; 1865, 128 págs.
- (7) Generalitat de Catalunya. Departament de Cultura. Arxiu Nacional de Catalunya. Fondo: Fuerzas Eléctricas de Cataluña, SA (FECSA).
- (8) MARTÍN VIDE, J.P.; "Ingeniería de ríos"; Barcelona: Edicions UPC; 2007, 381 págs. ISSN 1579-4431
- (9) SÁNCHEZ-ARCILLA, A.; JIMÉNEZ, J.A.; GE-LONCH, G.; NIETO ROMERAL, J.; "El problema erosivo en el Delta del Ebro"; *Revista de Obras Públicas*; 1997, no 3368, págs. 23-32. ISSN 1695-4408
- (10) Anuario de aforos. Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX (CEH-CEDEX) (en línea). Disponible en: <http://hercules.cedex.es/anuarioaforos/afo/estaf-datos.asp?indroea=9027> (Consulta: 28 julio de 2011).
- (11) PALAU, A.; "Aspectos clave sobre los caudales de mantenimiento en la elaboración del Plan Hidrológico del Ebro"; Departamento de Medio Ambiente y Ciencias del Suelo. Universidad de Lleida; 2007, 22 págs. (en línea). Disponible en: <http://oph.chebro.es/DOCUMENTACION/DirectivaMarco/ParticipacionCiudadana/7apalau-unilleida.pdf>. (Consulta: 28 de julio de 2011)
- (12) MAZA ÁLVAREZ, J.A.; GARCÍA FLORES, M. (1996). "Estabilidad de Cauces. Capítulo 12 del Manual de Ingeniería de Ríos"; México; Instituto de Ingeniería UNAM; 119 págs. ISSN 0185-2345
- (13) LEE, J.S.; JULIEN, P.Y.; "Downstream Hydraulic Geometry of Alluvial Channels"; *Journal of Hydraulic Engineering*; 2006, vol 132, no 12, págs. 1347-1352. ISSN 0733-9429
- (14) JULIEN, P.Y.; WARGADALAM, J.; "Alluvial Channel Geometry: Theory and Applications"; *Journal of Hydraulic Engineering*; 1995, vol 121, no 44, págs. 312-325. ISSN 0733-9429
- (15) PARKER, G.; WILCOCK, P.R.; PAOLA, C.; DIETRICH, W.E.; PITLICK, J.; "Physical basis for quasi-universal relations describing bankfull hydraulic geometry of single-thread gravel bed rivers"; *Journal of Geophysical Research*; 2007, no 112, págs. 1-21. ISSN 2156-2202
- (16) CAPAPÉ MIRALLES, S.; "Geometría hidráulica de la vall de l'Ebre a l'estiatge de 1863" Tesina de especialidad. Escuela T.S. Ingenieros de Caminos, C. y P; UPC; 2010, 141 págs.
- (17) GIPPEL C.J.; STEWARDSON, M.J.; "Use of wetted perimeter in defining minimum environmental flows"; *Regulated rivers: research & management*; 1998, no 14, págs. 53-67; ISSN 0886-9375.
- (18) ANNEAR, T. C.; CONDER, A. L.; "Relative bias of several fisheries instream flow methods"; *North American Journal of Fisheries Management*; 1984, no 4, págs. 532-539. ISSN 0275-5947
- (19) PARKER, G.W.; ARMSTRONG, D.S.; RICHARDS, T.A.; "Comparison of methods for determining streamflow requirements for aquatic habitat protection at selected sites on the Assabet and Charles Rivers, Eastern Massachusetts, 2000-02"; U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2004-5092; 2004, 72 págs.
- (20) SÁNCHEZ, R.; IBÁÑEZ, C.; "Criterios para la implantación de caudales ecológicos"; *Unitat d'Ecosistemes Aquàtics de l'Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (UEA-IRTA)*; 2007, 65 págs. (en línea). Disponible en: <http://oph.chebro.es/DOCUMENTACION/DirectivaMarco/ParticipacionCiudadana/6cibañez-rsanchez-irta.pdf>. (Consulta: 28 de julio de 2011)
- (21) SÁNCHEZ, R.; E IBÁÑEZ, C.; "Estudis de valoració i determinació del règim de cabals ambientals al tram baix del riu Ebre al seu pas per Catalunya. Proposta de règim de cabals ambientals del tram final del riu Ebre i validació biològica preliminar"; *Agència Catalana de l'Aigua (ACA) y UEA-IRTA*; 2008, 59 págs. (en línea). Disponible en: http://aca-web.gencat.cat/aca/documents/ca/planificacio/cabals/cabals_ambientals_baix_ebre_2008.pdf. (Consulta: 28 de julio de 2011)
- (22) RICHTER, B.D.; *Watershed Academy Web. United States Environmental Protection Agency (USEPA)*; 2008. (en línea). Disponible en: <http://www.epa.gov/watertrain/river/right3.html>. (Consulta: 28 de julio de 2011)