

# COMITÉ NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS

## EVALUACIÓN DE LAS POSIBILIDADES DE REMOCIÓN DE MACRÓFITOS MEDIANTE AVENIDAS CONTROLADAS

Marcos Sanz-Ramos<sup>1</sup>  
Ernest Bladé i Castellet<sup>2</sup>  
Antoni Palau Ibars<sup>3</sup>

*RESUMEN: La problemática asociada al crecimiento masivo de macrófitos en el Bajo Ebro ha llevado a autoridades y gestores a examinar la posibilidad de paliar los efectos negativos que producen sobre el sistema hídrico, y los usos del agua, mediante la realización de avenidas controladas periódicas que provoquen su remoción. El presente trabajo tiene como objetivo principal evaluar la capacidad erosiva de las avenidas controladas en el tramo del río Ebro comprendido entre la presa de Flix y la CN de Ascó. Este tramo se encuentra colonizado casi en su totalidad por macrófitos, un tipo de flora acuática que modifica considerablemente la morfodinámica del río. Empleando técnicas de modelización hidráulica (modelo Iber) se pudo contrastar cómo los macrófitos tienen una alta capacidad de fijación del sedimento, dificultando su eliminación. Además, fue posible determinar, para el tramo analizado, el caudal umbral a partir del cual se produciría movilización de sedimentos de manera generalizada, y previsiblemente de los macrófitos.*

### 1. INTRODUCCIÓN

La construcción de presas en ríos ha sido, y es hoy en día, una herramienta de gestión de recursos hídricos permitiendo el uso del agua para la agricultura, el

---

<sup>1</sup> Institut Flumen. Universitat Politècnica de Catalunya. C/ Jordi Girona 1-3 08034 Barcelona, España. E-mail: marcos.sanz-ramos@upc.edu.

<sup>2</sup> Institut Flumen. Universitat Politècnica de Catalunya. C/ Jordi Girona 1-3 08034 Barcelona, España. E-mail: ernest.blade@upc.edu.

<sup>3</sup> ETSEA. Universitat de Lleida. Av. A. Rovira Roure, 191. 25198-Lleida. España. E-mail: apalau@macs.udl.cat.

abastecimiento y la generación de energía, así como para la laminación de avenidas. Sin embargo, la regulación hídrica tiene consecuencias adversas para con la continuidad longitudinal del río (a nivel ecológico), la dinámica sedimentaria (a nivel morfológico) y el régimen de caudales naturales (a nivel hidrológico e hidráulico).

La alta regulación hidrológica (presas, represas, azudes, etc.) y el aporte extraordinario de nutrientes (agricultura intensiva), puede tener consecuencias en el ritmo de crecimiento y dispersión de la vegetación acuática [1]. Por un lado, el efecto decantador que estas obras ejercen en el transporte de sedimentos y la modificación del régimen de caudales naturales (sobre todo por la laminación de avenidas) y, por otro, el empleo de fertilizantes ricos en nutrientes inorgánicos, tienen como consecuencias la clarificación de las aguas (incrementado la intensidad y penetración de la luz) y el transporte de grandes cantidades de nutrientes (por infiltración o percolación).

El Bajo Ebro ha experimentado en las últimas décadas un incremento muy importante de vegetación acuática, concretamente de macrófitos enraizados sumergidos y emergidos, así como macrófitos flotantes. La presencia de macrófitos en los ríos, lagunas y embalses tiene consecuencias negativas en: i) el ecosistema acuático donde provocan un desequilibrio en la estructura trófica, limitando con su crecimiento el de otras especies (captación de nutrientes, reducción de la incidencia solar hacia el fondo, incremento de la temperatura, variaciones importantes en el oxígeno disuelto, etc.) y puede favorecer la aparición de plagas, como la mosca negra [2]; ii) en la economía ya que puede dejar inoperativos sistemas de riego, infraestructuras hidráulicas (captaciones, azudes, centrales eléctricas, etc.), zonas de navegación, etc.; y iii) en el comportamiento hidráulico del río (incremento del calado, reducción de la velocidad, incremento de procesos de sedimentación de partículas en suspensión, etc.) aumentando el riesgo de inundación y el área afectada en caso de avenida.

Es por ello que en los últimos años organismos de cuenca y gestores están evaluando diferentes metodologías para erradicar los macrófitos, o al menos controlar el proceso de colonización en los ríos. Sin embargo, la capacidad de adaptación que tienen los hace muy resistentes a variaciones físico-químicas del ecosistema (cambios de temperatura, pH, turbidez, etc.), así como a variaciones hidráulicas, dificultando su remoción.

Debido a su morfología (formada por tallos alargados) y a las grandes extensiones que ocupan (Figura 1), la eliminación manual es prácticamente imposible. El empleo de maquinaria pesada podría tener un coste económico elevado, y podría no ser aplicable en zonas de mayores calados (embalses, tramos profundos de ríos, etc.) o de difícil acceso. Además, provocaría la remoción de grandes cantidades de sedimento que incrementarían la turbidez de las aguas y afectarían gravemente a la flora y fauna de la zona de aplicación y la situada inmediatamente aguas abajo.

Como alternativa, aprovechando la alta regulación del tramo del Bajo Ebro, desde 2002 se están realizando avenidas controladas desde los embalses de Riba-Roja y Flix. Las avenidas tienen como finalidad incrementar la tensión de corte del fondo para poder movilizar el tamaño de partículas a las cuales se enraizan los macrófitos, para así poderlos arrancar del lecho.

No obstante, existen una serie de factores que limitan la efectividad de estas avenidas. En primer lugar, las restricciones en cuanto a caudal punta y volumen desaguado (capacidad del embalse) para evitar el desbordamiento del río (inundaciones). En segundo lugar, el desconocimiento del comportamiento hidrodinámico del río cuando se producen este tipo de avenidas (calados, velocidades, estado ten-

sional, etc.). Y, finalmente, el amplio ciclo biológico de los macrófitos (casi todo el año) y su elevada capacidad reproductora.

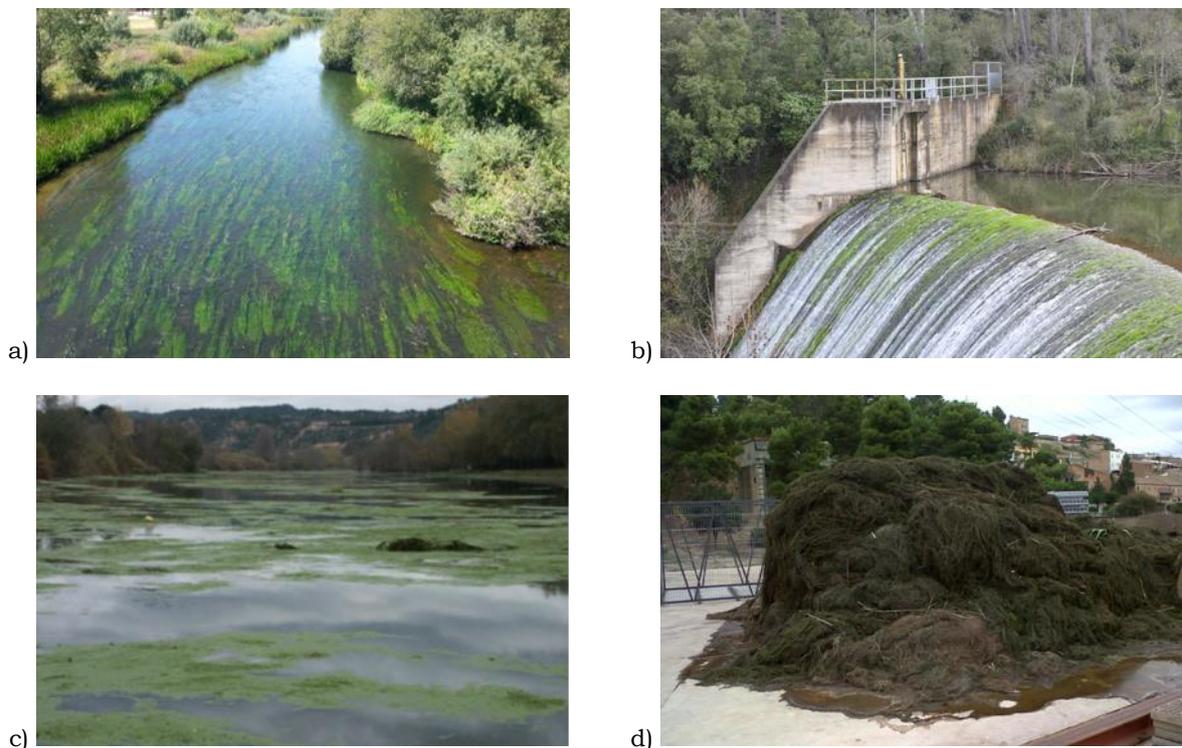


Figura 1. Proliferación de macrófitos: a) río Tormes atestado de macrófitos a su paso por la ciudad de Salamanca; b) contra embalse de la presa de Boadella colonizado por macrófitos; c) río Ebro atestado de macrófitos, vista hacia aguas arriba desde el Pas de Barca (Flix); d) macrófitos extraídos en agosto de 2011 de las rejillas de la cámara de carga de la Central Hidroeléctrica de Flix.

A fin de evaluar las posibilidades de remoción de los macrófitos, se llevó a cabo un estudio tensional con el objetivo de analizar hidráulicamente la eficacia de las avenidas controladas y proponer nuevas tipologías de hidrogramas. Para ello se empleó un modelo matemático de simulación hidráulica en dos dimensiones, permitiendo superar las limitaciones propias de las avenidas controladas (grandes volúmenes de agua, afecciones a partir de un cierto caudal, poco flexibles, etc.). Con esta herramienta se pudieron obtener mapas de tensiones de corte y diámetro crítico de partícula susceptible a movilizarse, empleando para ello el Criterio de Shields [3].

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. CASO DE ESTUDIO

El tramo de estudio, de 10 km de longitud, se encuentra en el Bajo Ebro (Figura 2a), entre la presa de Flix (PF) y el azud que da servicio al sistema de refrigeración de la Central Nuclear de Ascó (CNA). Presenta pequeñas peculiaridades como islas y barras con vegetación. La entrada de agua que tiene lugar desde la presa de Flix (caudal ecológico y desembalses) y al final del primer tercio del tramo (por donde se vierten los caudales turbinados por la Central Hidroeléctrica de Flix, CHF) y, además, existe una obra de regulación que condiciona considerablemente el comportamiento hidráulico del río (azud de la CNA).

Se llevaron a cabo dos campañas de campo con el fin de identificar el tipo de macrófitos, su ubicación y el tamaño del sedimento donde enraízan (Figura 2b) y para obtener datos de la avenida realizada para calibrar y validar el modelo numérico. Con la ayuda de fotografía aérea con sensores NDVI se pudo identificar la posición de los macrófitos ([4] y elaboración propia) y, con ello, confeccionar un mapa de usos del suelo acorde a la realidad (Figura 2c).

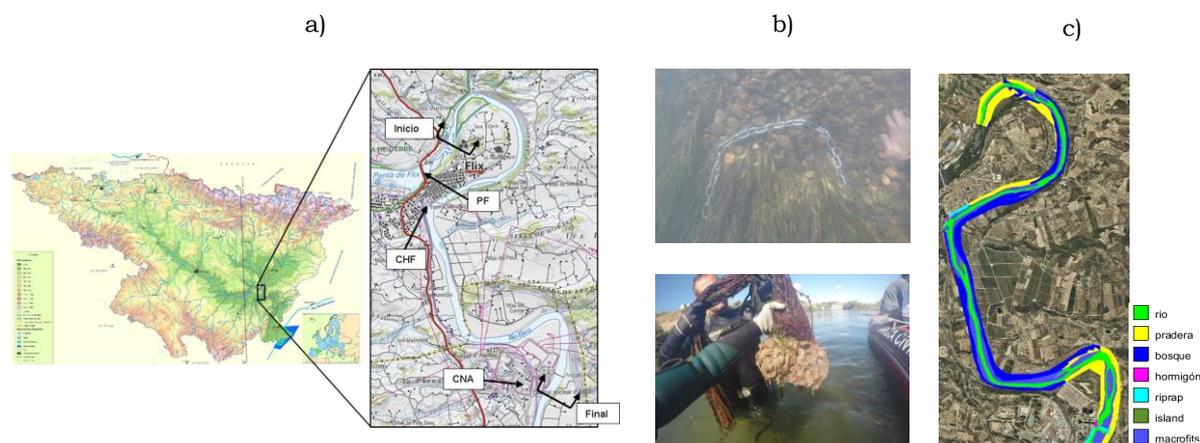


Figura 2. Zona de estudio (a), caracterización de macrófitos (b) y mapa de usos del suelo (c).

La proliferación de macrófitos es muy extensa en todo el tramo, llegando a cubrir secciones completas desde la PF hasta el Pas de Barca (en la localidad de Flix). El nivel de agua en este primer tramo se mantiene casi constante gracias al remonte de las aguas turbinadas desde la CHF y el caudal liberado desde la PF.

## 2.2. MODELO NUMÉRICO

La evaluación de la hidrodinámica y del estado tensional consecuencia de las avenidas controladas se llevó a cabo con el modelo Iber [5]. Se trata de un programa de simulación en dos dimensiones que abarca diferentes campos de la ingeniería hidráulica, como la gestión de inundaciones [5–8]; la evaluación hidráulica de estructuras [9,10]; el análisis de dispersión de contaminantes en ríos y estuarios [11]; el estudio morfodinámico y el transporte de sedimentos de ríos [12–15]; entre otros.

El módulo hidrodinámico de Iber permite obtener, de manera directa, las tensiones de corte fluido-terreno (resistencia al flujo) y el diámetro crítico de partícula sujeto a moverse a partir del Criterio de Shields [3]. No obstante, fue necesario modificar el código para evaluar la resistencia al flujo considerando las características propias de la zona de estudio (tipo de sedimento).

Las componentes que se oponen al movimiento del fluido son, en general, las fuerzas de fricción (tensiones de corte), la turbulencia y los fenómenos locales. En hidráulica fluvial se emplea el coeficiente de rugosidad de Manning para evaluar las fuerzas de fricción. Sin embargo, para determinar adecuadamente la capacidad erosiva en el lecho del río, el coeficiente de Manning debe obtenerse a partir del sumatorio de los diferentes coeficientes de fricción asociados a los distintos elementos presentes en el río (tamaños de partícula, vegetación acuática, etc.).

En el presente estudio se empleó un coeficiente de Manning global ( $n$ ) como suma de dos componentes: rugosidad del grano ( $n_s$ ) y rugosidad del cauce ( $n_c$ ). La primera tiene en cuenta el efecto de la rugosidad de la partícula y mientras que la segunda los efectos debidos a elementos como las formas de fondo, la vegetación,

etc. Para fondos granulares, Strickler [16] propuso unas fórmulas empíricas que relacionan la rugosidad del grano ( $n_s$ ) y el tamaño característico de la partícula ( $D_{50}$ ). Para la zona de estudio el  $D_{50}$  y el  $n_s$  fueron de 17,5 mm y de  $0,024 \text{ s}\cdot\text{m}^{-1/3}$ , respectivamente. Este último valor fue con el que se evaluó la tensión de fondo y el diámetro crítico.

## 2.3. CONFIGURACIÓN DEL MODELO

El modelo numérico se construyó en base a la batimetría obtenida por Tena [17], empleando una malla de cálculo de alrededor de 140000 elementos de  $4 \times 4 \text{ m}$  de lado. La topografía se ajustó a lo observado durante la campaña de campo (incisión en el *talweg*, aparición de islas, desplazamiento de barras, corrección de errores, etc.). Asimismo, se modificó la zona del azud de la CNA (azud y canal de derivación) y la zona de vertido de la CHF, por tener una definición insuficiente.

Se consideraron dos entradas de caudal (una desde la PF y otra desde la CHF), una salida (aguas abajo del azud de la CNA) y se empleó un mapa de usos del suelo espacialmente distribuido (Figura 2c), donde cada uso correspondió a un coeficiente de Manning. Para evaluar la hidrodinámica se utilizaron coeficientes de Manning ( $n$ ) propuestos por Tena [17] para el lecho del río y por de Barnes [18] y Arcement [19] para el resto de los usos del suelo. Para los macrófitos se empleó un único coeficiente de Manning bajo la hipótesis de que todas las especies presentes en el río se comportan hidráulicamente igual.

## 2.4. ESCENARIOS DE CÁLCULO

Se realizaron dos escenarios para obtener relaciones caudal-tensión (Escenario 1) y para ver la influencia que tiene el nivel de desarrollo de los macrófitos en el estado tensional y diámetro crítico (Escenario 2).

En el Escenario 1 se evaluaron caudales desde 200 hasta 3000  $\text{m}^3/\text{s}$ , con incrementos cada 200  $\text{m}^3/\text{s}$ . Se empleó una simulación continua donde el caudal fue constante durante 6 h (tiempo suficiente para alcanzar el régimen estacionario) y se consideró un coeficiente de rugosidad de los macrófitos correspondiente a un nivel de desarrollo medio ( $0,045 \text{ s}\cdot\text{m}^{-1/3}$ ). Para el Escenario 2, realizado a caudal constante (1200  $\text{m}^3/\text{s}$ ), se emplearon diferentes coeficientes de rugosidad para los macrófitos, simulando los estadios de desarrollo a lo largo del año. Estos coeficientes variaron desde la mínima extensión (lecho del río limpio, sin macrófitos) hasta el máximo desarrollo de biomasa, con un valor de  $0,1 \text{ s}\cdot\text{m}^{-1/3}$ .

# 3. RESULTADOS

## 3.1. ESCENARIO 1

La respuesta tensional del río a diferentes caudales muestra una gran variabilidad espacial. La influencia del coeficiente de rugosidad global ( $n$ ) es alta y, además, existen grandes gradientes altitudinales a lo largo de la sección transversal del río que provocan un incremento considerable de las fuerzas tangenciales. Las máximas tensiones observadas se producen en el meandro de Ascó (Figura 3). La influencia del azud de la CNA en la hidrodinámica del lugar es importante ya que se produce un incremento considerable de la velocidad y una reducción del calado. Esta combinación provoca que la capacidad erosiva sea mayor en esta zona.

Como muestra la Figura 4, la tensión de fondo se incrementa de manera no-lineal a medida que aumenta el caudal. Además, se aprecia que las tensiones tienen una tendencia asintótica debido a la homogenización del campo de velocidades a lo largo de una sección. Nótese que con cada incremento de caudal se produce un aumento puntual de las tensiones de fondo. Esto es debido al efecto “avalancha” ocasionado por el incremento súbito de caudal, fijado en  $200 \text{ m}^3/\text{s}$  cada 5 minutos (función del tiempo de maniobra de las compuertas de la PF).

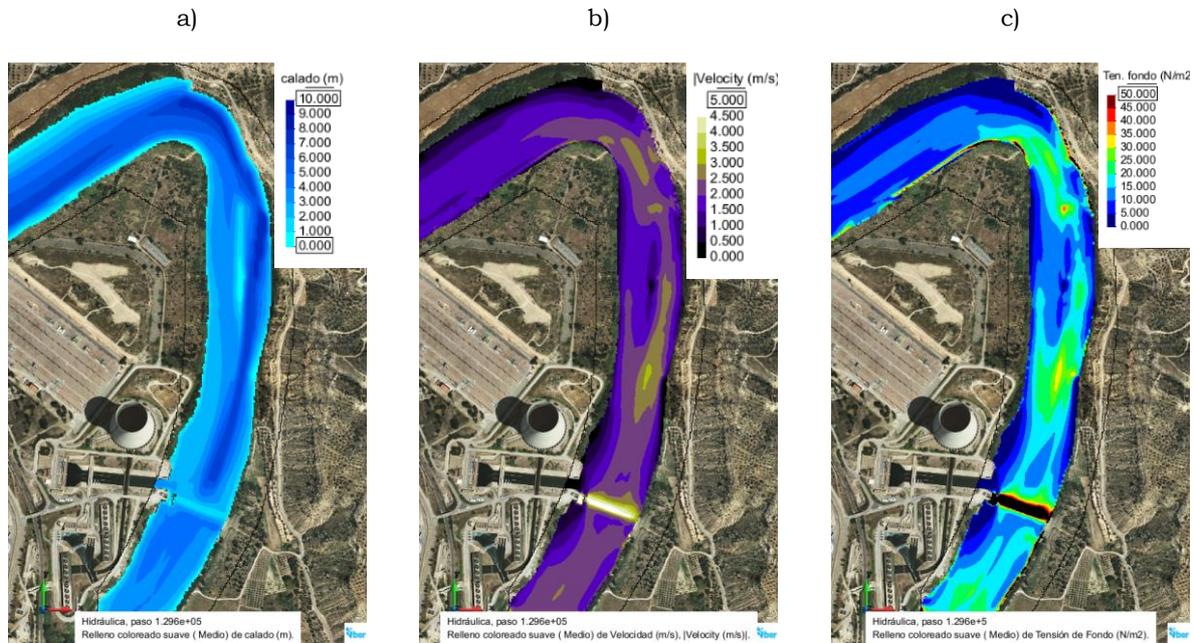


Figura 3. Meandro de Ascó. Mapas de calados (a), velocidades (b) y tensiones de fondo (c) para un caudal de  $1200 \text{ m}^3/\text{s}$ . En negro se muestran tensiones de fondo superiores a  $50 \text{ N/m}^2$  (en el azul).

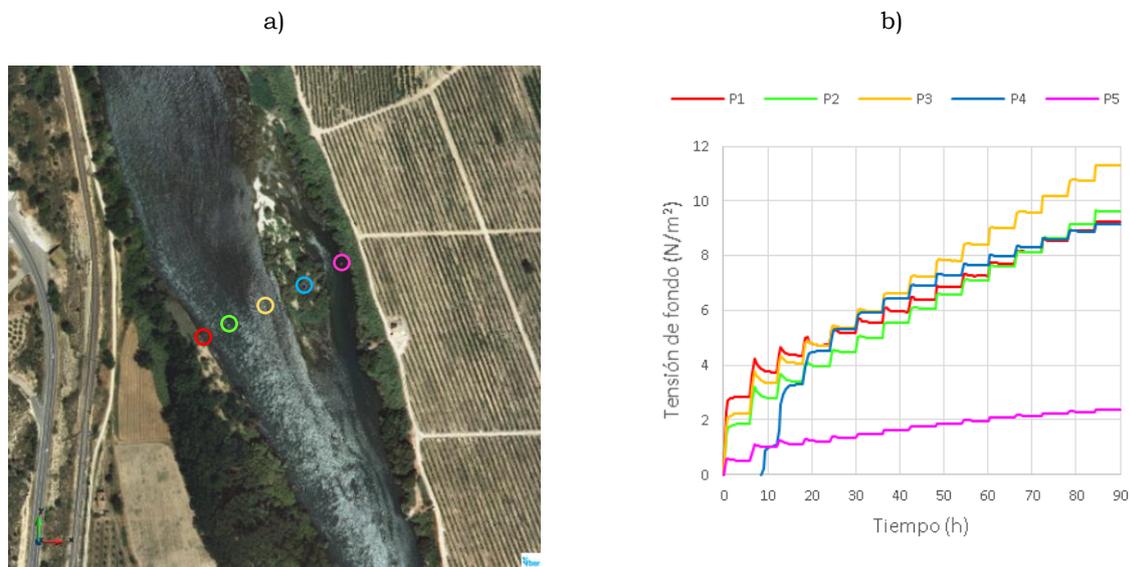


Figura 4. Sección situada 750 metros aguas abajo CHF (a). Evolución temporal de la tensión de fondo (b) durante la simulación (incrementos de  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Por otro lado, la capacidad erosiva se midió mediante el diámetro crítico ( $D_c$ ) que sería movilizado por cada caudal. En la Figura 5 se muestran las zonas dónde potencialmente se produciría movilización de sedimentos (áreas coloreadas) para  $1200$

y 3000 m<sup>3</sup>/s. Como se observa, existen diferencias notorias en cuanto a la extensión y diámetro, sobre todo en el *talweg* del río y en la parte final del tramo (color negro:  $D_c > 50$  mm).

A partir de estos mapas se extrajo el porcentaje del área cuyo  $D_c$  era superior al tamaño característico del sedimento ( $D_{50} = 17,5$  mm) respecto al área mojada. Se obtuvieron valores crecientes con respecto al caudal, siendo a partir de 2000 m<sup>3</sup>/s cuando el porcentaje superó el 15 % y, además, el sedimento potencialmente movilizable se extendió a casi todo el tramo de estudio (*talweg* y orillas del río).

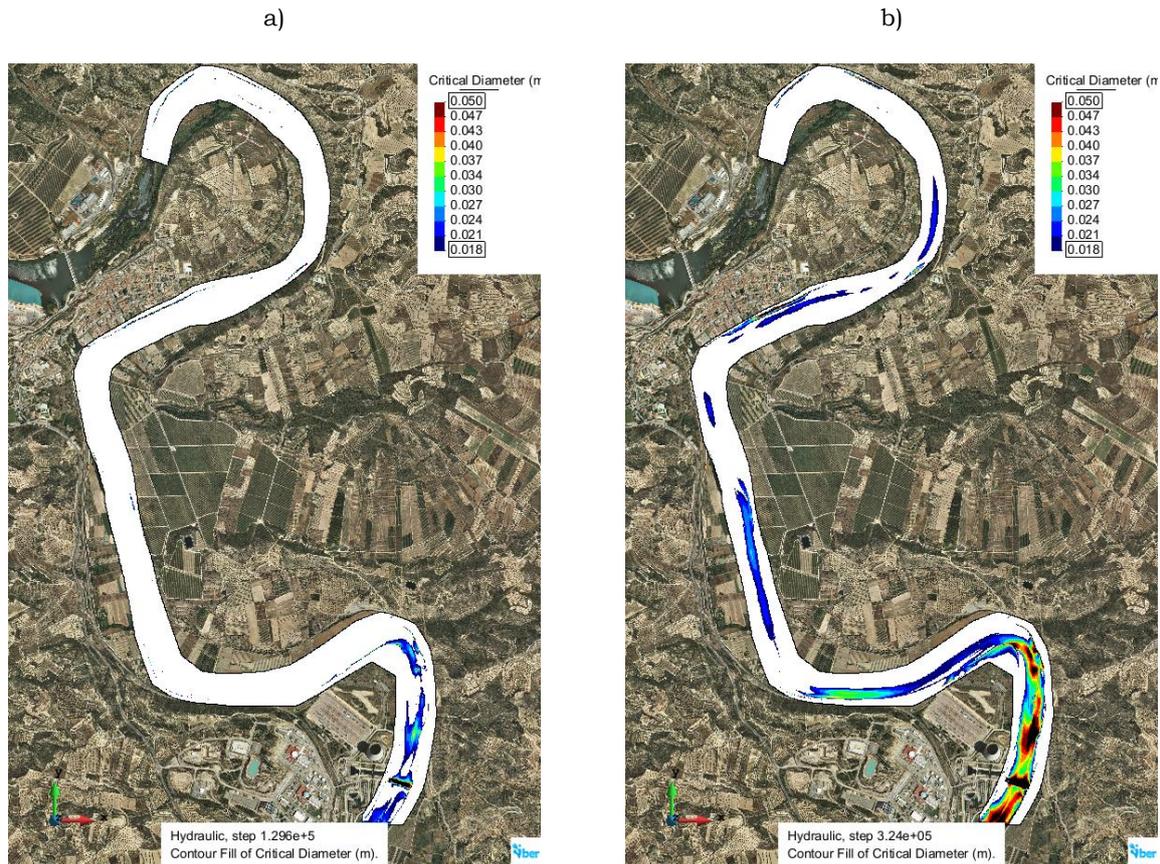


Figura 5. Mapa de diámetro crítico filtrado para tamaños de partícula entre 17,5 (azul) y 50 mm (rojo) ( $n_{\text{macrófitos}} = 0,045 \text{ s} \cdot \text{m}^{-1/3}$ ) para 1200 m<sup>3</sup>/s (a) y de 3000 m<sup>3</sup>/s (b). Valores por debajo y por encima del umbral se muestran de color blanco y negro, respectivamente.

### 3.2. ESCENARIO 2

La influencia del coeficiente de rugosidad de los macrófitos se manifiesta de dos maneras distintas. Por un lado, cuando se consideran rugosidades globales ( $n$ ) reducidas, asimilables a estadios de desarrollo de los macrófitos bajos, se produce una circulación del flujo más homogénea a lo ancho de la sección del río. Por otro lado, para rugosidades globales altas, se forman vías de intenso desagüe por donde el flujo tiende a circular de manera más rápida y, por tanto, con mayor capacidad erosiva solo en esas zonas. En la Figura 6 se puede observar el efecto mencionado.

Puesto que para estadios de desarrollo altos de macrófitos se producen velocidades más bajas y calados más altos (en término medio), la capacidad erosiva del flujo se ve muy reducida. En la Figura 7 se aprecia dicha influencia en una sección si-

tuada en el meandro de Ascó, donde la máxima diferencia entre diámetro crítico está en torno a 3 centímetros en el diámetro crítico.

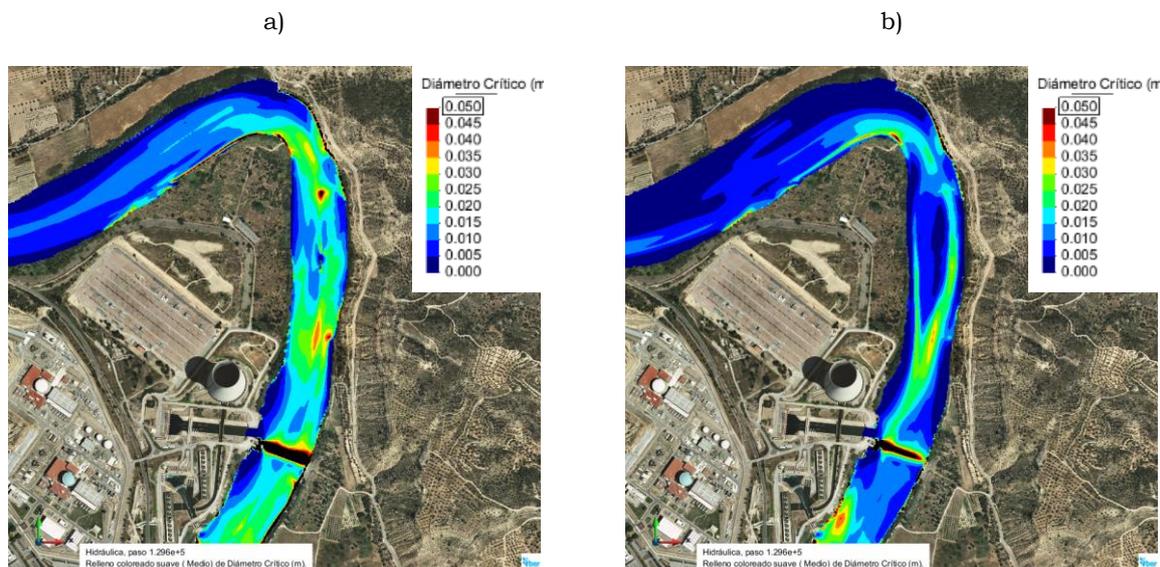


Figura 6. Comparación entre el diámetro de partícula sujeto a movilizarse ( $D_c$ ) considerando la mínima extensión de macrófitos (a) y la máxima extensión de macrófitos (b) en el meandro de Ascó (caudal de  $1200 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

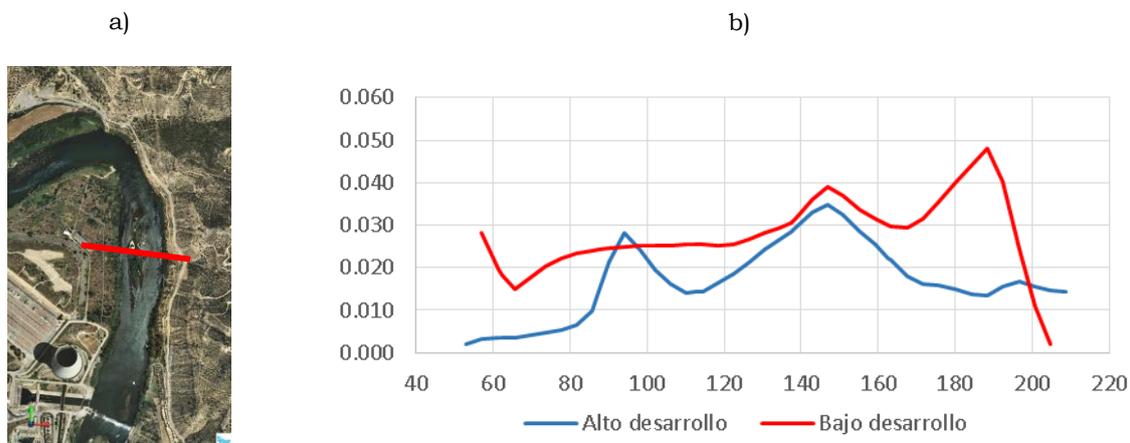


Figura 7. Tamaño de partícula sujeto a movilizarse en una sección del meandro de Ascó. Ubicación de la sección considerada (a). Diferencia entre diámetros críticos considerando el máximo (azul) y mínimo (rojo) desarrollo de macrófitos (b).

## 4. CONCLUSIONES

La elevada extensión de vegetación acuática, y en concreto de macrófitos, en el Bajo Ebro está ocasionando modificaciones en el comportamiento hidráulico y biológico del río. El empleo de avenidas controladas pretende devolver al río parte del régimen de caudales naturales y, como consecuencia, controlar la proliferación de estas especies. No obstante, requiere de estudios *ad hoc* para evaluar su idoneidad y poder diseñar hidrogramas más eficientes.

En este sentido, la utilización de herramientas de simulación numérica permite solventar las limitaciones que las avenidas controladas tienen (periodicidad escasa, problemas de inundación para caudales elevados, etc.).

Mediante el modelo Iber han sido evaluados el estado tensional y las áreas donde potencialmente el sedimento se movilizaría en un tramo de 10 km del Bajo Ebro. De su estudio se desprende que los macrófitos ejercen, debido a su disposición y nivel de desarrollo, una gran influencia en la distribución del campo de velocidades a lo largo de una sección (“vía de intenso desagüe”) de manera que en aquellas zonas donde la presencia de vegetación es baja, la velocidad, y por ende la tensión, es alta. También se ha apreciado un incremento puntual de las tensiones de fondo debido un efecto “avalancha” cuando se producen rápidos incrementos de caudal. En general, los macrófitos ralentizan el flujo y homogenizan el campo de velocidades, lo que provoca una reducción de la capacidad erosiva donde estos se desarrollan.

El área total de sedimento potencialmente movilizable (diámetro crítico por encima del tamaño de partícula presente en el río,  $D_c > D_{50}$ ) no presenta una relación lineal con el caudal, teniendo mayor relevancia en la parte final del tramo de estudio, donde las condiciones hidráulicas (velocidad y calado) son propicias para movilizar mayores tamaños de partícula. A medida que se incrementa el caudal, las zonas más susceptibles a producirse la movilización del sedimento de fondo, y por ende de los macrófitos, van apareciendo en la parte central del río, evitando precisamente las zonas donde se encuentran enraizados los macrófitos.

Para obtener mayor eficacia en la eliminación de macrófitos serían necesarios, para el tramo de estudio, caudales superiores a 2000 m<sup>3</sup>/s, incrementos de caudal más súbitos (acentuando el efecto “avalancha”) y mantener caudales elevados durante varias horas. Sin embargo, para caudales superiores a 1200 m<sup>3</sup>/s se producen inundaciones aguas abajo y, además, el volumen de las avenidas tiene que estar acorde con la capacidad de los embalses y sus garantía de reserva de agua, factores que limitan la eliminación de macrófitos en este tramo de río.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a ENDESA S.A. (Cambio Climático, Biodiversidad, I+D+i Ambiental y Recursos Hídricos) la financiación de la primera campaña de campo y los trabajos de modelización numérica (Instituto Flumen, 2016), al Grupo Especial de Actividades Subacuáticas de la Guardia Civil su colaboración en la primera campaña de campo y al Grupo de Investigación de Dinámica Fluvial RIUS (Universidad de Lleida) los datos batimétricos y topográficos facilitados.

## 6. REFERENCIAS

- [1] G.M. Carr, H.C. Duthie, W.D. Taylor, Models of aquatic plant productivity: a review of the factors that influence growth, *Aquat. Bot.* 59 (1997) 195–215. doi:10.1016/S0304-3770(97)00071-5.
- [2] R.J. Batalla, D. Vericat, Hydrological and sediment transport dynamics of flushing flows: implications for management in large Mediterranean Rivers, *River Res. Appl.* 25 (2009) 297–314. doi:10.1002/rra.1160.
- [3] A. Shields, Application of similitude mechanics and the research on turbulence to bed form movement, Mitt, in: *Preuss. Versuchsanstalt Fur Wasserbau Und Schiffbau*, 1936.
- [4] S. Montesinos, M. Bea, J.A. Losada, Determinación de macrófitos en el río Ebro entre Flix y Mora d’Ebre, in: *Actas Del XIII Congr. Asoc. Española Teledetección*, 2009: pp. 137–140.
- [5] E. Bladé, L. Cea, G. Corestein, E. Escolano, J. Puertas, E. Vázquez-Cendón,

- J. Dolz, A. Coll, Iber: herramienta de simulación numérica del flujo en ríos, *Rev. Int. Métodos Numéricos Para Cálculo Y Diseño En Ing.* 30 (2014) 1–10. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.rimni.2012.07.004.
- [6] J.C. González-Aguirre, M.E. Vázquez-Cendón, J. Alavez-Ramírez, Simulación numérica de inundaciones en Villahermosa México usando el código IBER, *Ing. Del Agua.* 20 (2016) 201. doi:10.4995/ia.2016.5231.
- [7] A. Ramos-Fuertes, B. Marti-Cardona, E. Bladé, J. Dolz, Envisat/ASAR Images for the Calibration of Wind Drag Action in the Doñana Wetlands 2D Hydrodynamic Model, *Remote Sens.* 6 (2013) 379–406. doi:10.3390/rs6010379.
- [8] E. Bladé, L. Cea, G. Corestein, Numerical modelling of river inundations, *Ing. Del Agua.* 18 (2014) 68. doi:10.4995/ia.2014.3144.
- [9] O.S. Areu-Rangel, J. González-Cao, A.J.C. Crespo, R. Bonasia, Numerical modelling of hydrological safety assignment in dams with IBER, *Sustain. Water Resour. Manag.* (2017). doi:10.1007/s40899-017-0135-2.
- [10] D. López, R. Díaz, J.J. Rebollo, T. Ramos, F.R. Andrés, M.I. Berga, Aplicación del método SPH al estudio hidráulico de estructuras. Análisis hidrodinámico del aliviadero en pozo de la presa de Nagore (Navarra), *RIBAGUA - Rev. Iberoam. Del Agua.* 3 (2016) 1–7. doi:10.1016/j.riba.2016.03.001.
- [11] L. Cea, M. Bermudez, J. Puertas, E. Blade, G. Corestein, E. Escolano, A. Conde, B. Bockelmann-Evans, R. Ahmadian, IberWQ: new simulation tool for 2D water quality modelling in rivers and shallow estuaries, *J. Hydroinformatics.* 18 (2016) 816–830. doi:10.2166/hydro.2016.235.
- [12] M. Arbat-Bofill, E. Bladé, M. Sánchez-Juny, D. Niñerola, J. Dolz, Suspended sediment dynamics of Ribarroja Reservoir (Ebro River, Spain), in: *Reserv. Sediment.*, CRC Press, 2014: pp. 99–107. doi:10.1201/b17397-14.
- [13] M. Arbat Bofill, E. Bladé, M. Sánchez-Juny, D. Niñerola, J. Dolz Ripollés, Suspended sediment dynamics of Ribarroja Reservoir (Ebro River, Spain), *River Flow 2014.* (2014). doi:10.13140/2.1.4320.1287.
- [14] G. Corestein, E. Bladé, D. Niñerola, Modelling bedload transport for mixed flows in presence of a non-erodible bed layer, in: *River Flow 2014*, CRC Press, 2014: pp. 1611–1618. doi:10.1201/b17133-214.
- [15] G. Corestein, E. Bladé, Validación del módulo de transporte de sedimentos de fondo - Modelo Iber, in: *III Jornadas Ing. Del Agua La Protección Contra Los Riesgos Hídricos, JIA 2013*, 2013: pp. 27–34.
- [16] A. Strickler, Beiträge zur Frage der Geschwindigkeitsformel und der Rauheitszahl für Ströme, *Mitteilungen des Eidg. Amtes für Wasserwirtschaft*, Bern, 1923.
- [17] A. Tena, L. Książek, D. Vericat, R.J. Batalla, ASSESSING THE GEOMORPHIC EFFECTS OF A FLUSHING FLOW IN A LARGE REGULATED RIVER, *River Res. Appl.* 29 (2013) 876–890. doi:10.1002/rra.2572.
- [18] H.H. Barnes, Roughness Characteristics of Natural Channels, Tech. Report, Geol. Surv. Water-Supply, United States Gov. Print. Off. Washington, U.S.A. (1987) 219. doi:10.1016/0022-1694(69)90113-9.
- [19] G.J.J. Arcement, Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Floodplains, USGS Water-Supply. Paper 2339 (1989).