

Ciencia Nicolaita 85

ISSN: 2007-7068



Universidad
Michoacana
de San Nicolás
de Hidalgo

Simulación del hábitat potencialmente utilizable (HPU) por la especie *Chondrostoma polylepis*, en un río, utilizando el sistema PHABSIM

Weighted usable area simulation (WUA) for *Chondrostoma polylepis* species, in a river using the PHABSIM system

Ezequiel García Rodríguez

Para citar este artículo: Ezequiel García Rodríguez, 2022. Simulación del hábitat potencialmente utilizable (HPU) por la especie *Chondrostoma polylepis*, en un río, utilizando el sistema PHABSIM. Ciencia Nicolaita no. 85, 73-83. DOI: <https://doi.org/10.35830/cn.vi85.667>



Historial del artículo:

Recibido: 25 de mayo de 2022

Aceptado: 2 de septiembre de 2022

Publicado en línea: septiembre de 2022



Ver material suplementario



Correspondencia de autor: ezequiel.garcia@umich.mx



Términos y condiciones de uso: <https://www.cic.cn.umich.mx/cn/about/privacy>



Envíe su manuscrito a esta revista: <https://www.cic.cn.umich.mx/cn/about/submissions>

Simulación del hábitat potencialmente utilizable (HPU) por la especie *Chondrostoma polylepis*, en un río, utilizando el sistema PHABSIM

Weighted usable area simulation (WUA) for *Chondrostoma polylepis* species, in a river using the PHABSIM system

Ezequiel García Rodríguez

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Ingeniería Civil. Morelia, Michoacán. México.

Resumen

En el presente escrito se muestra la simulación del hábitat físico de un tramo del río Lozoya, ubicado en la zona norte de la Comunidad Autónoma de Madrid. El objetivo es estimar la disponibilidad de Hábitat Potencialmente Utilizable (HPU) para la especie *Chondrostoma polylepis*, así como determinar el caudal que maximiza dicho HPU. Se utilizó el sistema PHABSIM (Physical Habitat Simulation System) y se identificó que el caudal que maximiza el HPU es de 1.5 m³/s para el estadio de vida juvenil, 0.65 m³/s para el estadio de vida alevín y 4.00 m³/s para el estadio de vida adulto. Los resultados obtenidos constituyen información valiosa para la gestión sostenible de los recursos hídricos del ecosistema fluvial.

Palabras Clave: simulación del hábitat, PHABSIM, *Chondrostoma polylepis*, caudales ecológicos

Abstract

In this work we present the physical habitat simulation of a Lozoya river, located at Comunidad Autónoma de Madrid. The main subject is in order to get the availability of weighted usable area (WUA) for *Chondrostoma polylepis*, as well as to determine the flow that maximizes the WUA. For habitat simulation it was used the PHABSIM (Physical Habitat Simulation System), and it can be identified that 1.5m³/s flow maximizes the WUA for juvenile life stage, 0.65 m³/s maximizes the WUA for fry life stage, and 4.00 m³/s maximizes the WUA for adult life stage. These results mean information for the sustainable management of fluvial ecosystem water resources.

Key words: habitat simulation, PHABSIM, *Chondrostoma polylepis*, Instream flow needs

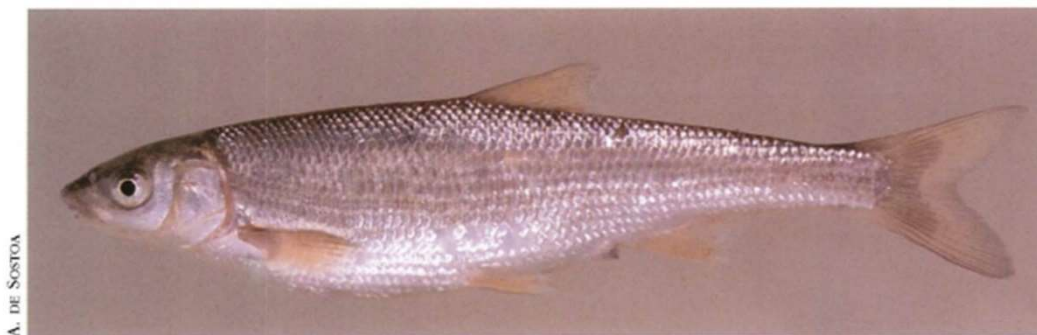


Figura 1. *Chondrostoma polylepis* (De Sostoa A., en Doadrio D., 2002).

Introducción

Al proyectarse obras hidráulicas en el medio fluvial, se debe tener en cuenta el impacto correspondiente, así como la implementación de medidas de mitigación, tal es el caso del establecimiento de un régimen de caudales ecológicos o ambientales que garantice su continuidad y, en la mayor medida posible, conserve y/o genere características de hábitat que favorezcan su conservación y adecuado desarrollo.

En este sentido, una de las metodologías más utilizadas en la gestión de los recursos hídricos, de cara a la conservación de los ecosistemas fluviales, es la denominada Instream Flow Incremental Methodology (IFIM) (Bovee *et al.*, 1992 y 1998), en la que la determinación del régimen de caudales ecológicos o ambientales, se basa en la simulación del hábitat físico para una o varias especies objetivo, utilizando para ello el sistema para computadora denominado PHABSIM (Physical Habitat Simulation System) (Waddle, 2001; Milhous *et al.*, 1984 y 1989), constituido por uno o varios modelos para efectuar la simulación de la hidrodinámica fluvial y, también, uno o varios modelos para realizar la simulación del hábitat, a los que se les introducen datos geomorfológicos, hidrométricos y biológicos que son obtenidos del tramo de río en estudio.

La simulación del hábitat pretende integrar dos de los principales componentes del ecosistema fluvial: el régimen de flujo y la estructura física del hábitat (Karr *et al.*, 1986). De tal manera que, para cada gasto o caudal, se estima la disponibilidad de Hábitat Potencialmente Utilizable (HPU) por los organismos acuáticos objetivo, y se elaboran gráficos caudal-hábitat que se utilizan para determinar el caudal que

maximiza el HPU, referencia básica para proponer el régimen de caudales ecológicos o ambientales. Por su parte, para el aspecto biológico se utilizan modelos de preferencia de hábitat de las especies objetivo, que se desarrollan asumiendo que el hábitat será utilizado por tales especies de acuerdo a lo conveniente que resulte para su desarrollo, por lo tanto, es necesario conocer las preferencias de hábitat de las especies que habitan en el río en estudio.

Tomando como base lo antes mencionado, en el presente trabajo se expone la simulación del hábitat de un tramo de 609 m del río Lozoya, con el objetivo de determinar los caudales hídricos que maximizan el HPU para los estadios de vida adulto, juvenil y alevín de la especie *Chondrostoma polylepis*, endémica de la Península Ibérica (Figura 1), utilizando los modelos de preferencia de hábitat de la especie mencionada y el sistema PHABSIM.

Metodología

Río de estudio

La elección del río Lozoya obedece a su valor desde el punto de vista ecológico y paisajístico, así como por su importancia como fuente de abastecimiento de agua de buena calidad para la ciudad de Madrid, España.

Zona de estudio

Localización geográfica. La cuenca del río Lozoya está ubicada en la zona norte de la Comunidad Autónoma de Madrid (Figura 2). Nace en la Laguna Grande de Peñalara (Fernández, 1915) a 2000 m de altura entre las sierras de la Cuerda Larga por el sur y la de Guadarrama por el norte.

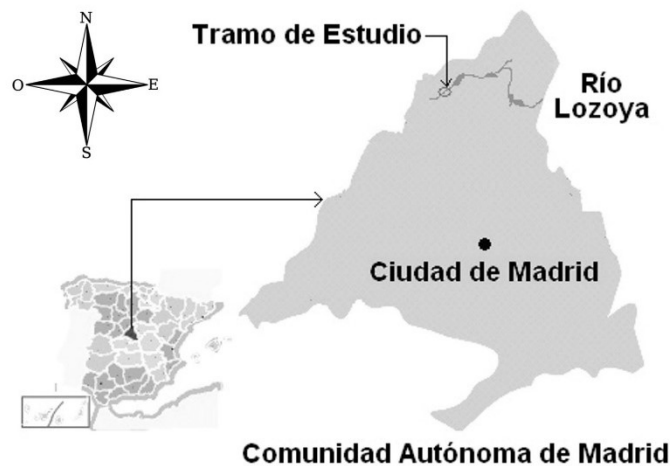


Figura 2. Localización del tramo del río Lozoya en la Península Ibérica y en la Comunidad Autónoma de Madrid.

Clima. Si bien en las mayores altitudes de la divisoria se encuentra un clima mediterráneo de alta montaña, el del Valle del Lozoya se puede clasificar como de tipo mediterráneo subhúmedo-húmedo de inviernos fríos. Asimismo, la zona donde se ubica el tramo de estudio tiene una temperatura media anual de 10.3 °C, la precipitación media anual de 796 mm y la cota de 1095 msnm.

Hidrología. El área total de la cuenca del río Lozoya es de 983.3 km² y forma parte de la cuenca hidrográfica del río Tago. El río Lozoya completa un recorrido total de 91 km y es embalsado por la presa de Pinilla después de discurrir, aproximadamente, 20 km con dirección nordeste. Cabe mencionar que es embalsado, además, en otros seis puntos de su recorrido. De acuerdo con la clasificación de Masachs (1948), el río Lozoya queda encuadrado dentro del grupo de los ríos de montaña media de los ríos ibéricos, en los que las precipitaciones pluviales tienen mayor protagonismo que las nivales.

Ictiofauna. Según García de Jalón *et al.* (2002), en la zona alta de la cuenca del río Lozoya (*i.e.* desde su nacimiento hasta el embalse de Pinilla) se pueden encontrar 13 especies de peces de cuatro familias diferentes, de las cuales, para el presente trabajo, se seleccionó la especie *Chondrostoma polylepis*, endémica de la Península Ibérica y perteneciente a la familia *Cyprinidae*.

Tramo de estudio. Está ubicado en una zona de orden III, siendo sus coordenadas UTM en la zona inferior: 30T0430655 UTM0530001 y su altitud de 1095 msnm. La figura 2 muestra la ubicación del

tramo de estudio, el cual tiene 609 m de longitud; cuenta con dos islas: una ubicada a partir de 30 m de la sección transversal localizada más aguas abajo, y la otra a 400 m de la misma sección, de acuerdo con el esquema general que se muestra en la figura 3.

El tramo de estudio cuenta con zonas de aguas rápidas con sustrato de gravas que pueden constituir frezaderos, con pozas y cobertura vegetal a base de ramas y raíces sumergidas, cornisas, troncos, rocas y fisuras en la roca madre que pueden constituir refugio. Por su parte, el ancho promedio del tramo en el cauce principal es de 15 m y de 6.5 m en los cauces secundarios; el caudal medio anual es de 3.1 m³/s a la altura del sitio de estudio, con caudales máximos de 45m³/s, mientras que la pendiente media del tramo es de 0.0041. Finalmente, el sustrato predominante está formado por gravas y cantos, destacando la presencia de roca madre fisurada en la parte central del tramo, así como depósitos de arena en las orillas del cauce y, sobre todo, en las zonas de pozas.

Simulación de la hidrodinámica fluvial

Altura de la superficie libre del agua (ASLA)

• **Modelo WSP (Water Surface Profile), integrado en el PHABSIM**

El modelo WSP (U.S. Bureau of Reclamation, 1968; en Waddle, 2001) utiliza el método del paso estándar para calcular los perfiles de flujo que se presentarían en el cauce para los diferentes caudales de interés, ya que asume que el flujo es gradualmente variado.

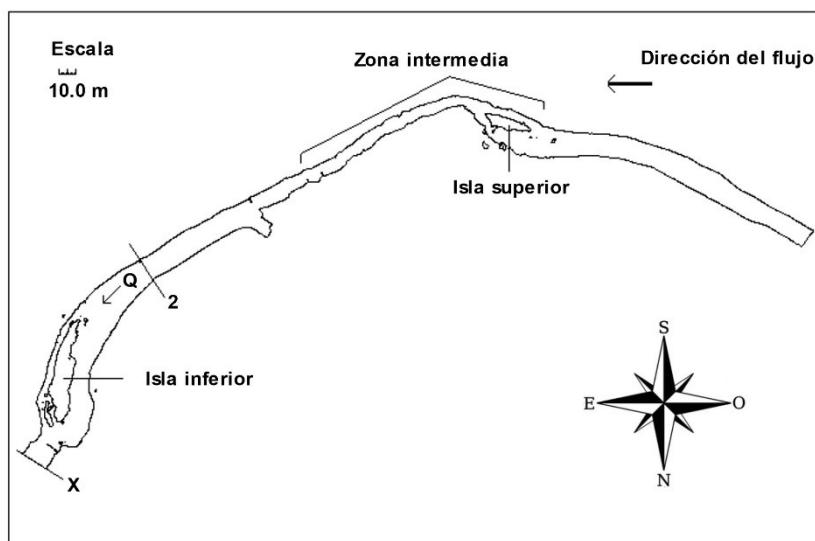


Figura 3. Esquema general del tramo del río Lozoya.

- **Modelo STGQ del PHABSIM**

Utiliza los datos de la curva caudal-altura de la superficie libre del agua (Q-ASLA), obtenida para cada una de las secciones transversales para su aplicación. Dichas curvas se elaboran basándose en un mínimo de tres puntos, cuyos valores fueron obtenidos en campo. En el modelo STGQ (Waddle, 2001) se asume que el flujo es uniforme y, al aplicarlo, se estimaron las ASLA's para los caudales necesarios, obteniendo las ecuaciones de regresión a partir de los pares de valores caudal-ASLA introducidos en el PHABSIM. Es importante mencionar que el modelo STGQ se utilizó en aquellas secciones transversales del tramo de estudio que mostraron un comportamiento hidráulico básicamente independiente del resto de las secciones.

Velocidades. Se determinó en campo el perfil de velocidades en cada una de las secciones transversales para tres caudales diferentes: dos de los juegos de velocidades se utilizaron como perfiles de velocidades de calibración, mientras que el tercero fue separado para determinar la calidad de calibración del modelo, comparándolo con el perfil de velocidades de predicción simuladas para este mismo caudal.

- **Modelo de VELSIM**

Simulados los perfiles de flujo para los caudales deseados, se utilizó el modelo VELSIM (Waddle, 2001) para calcular la velocidad en las celdas de discretización de las secciones transversales. Las velocidades de celda obtenidas mediante este modelo, se

utilizaron más adelante para efectuar la simulación del hábitat. Para calibrar el VELSIM se utilizaron dos juegos de velocidades y se verificó la calidad de la calibración para las velocidades medidas en campo para el tercer caudal.

Obtención de datos de campo

Caudales objetivo o de muestreo. La información obtenida en cada una de las secciones transversales del tramo de río en estudio se encuentra en el cuadro 1. Las campañas de obtención de datos hidrométricos se realizaron en un periodo de un año, mientras que la mayor parte de la topografía se hizo en un periodo aproximado de 20 días.

Secciones transversales. Atendiendo a criterios hidráulicos y de hábitat, se ubicaron secciones transversales en los controles hidráulicos del tramo de estudio, así como en los cambios importantes del cauce, tanto en planta como en el perfil longitudinal, zonas de cambio en el tipo de sustrato y en los diferentes mesohábitats existentes en el tramo de estudio (*i.e.* rabiones, pozas y rápidos). Como se puede ver en la figura 4, se colocaron un total de 60 secciones transversales: 39 en el cauce principal y 21 en los cauces secundarios.

Topografía. Para obtener la topografía se utilizó una poligonal abierta situada a todo lo largo del tramo de estudio, obteniendo las coordenadas X, Y, Z de cada punto de las secciones transversales, respecto a las coordenadas de un banco de nivel. En los

<p>Cuadro 1</p> <p>Caudales de muestreo.</p>	
Caudales de muestreo (m ³ /s)	Datos hidrométricos obtenidos
4.00	Velocidades, profundidades y cotas del agua en el cauce principal y los cauces secundarios
1.45	Velocidades, profundidades y cotas del agua en el cauce principal y los cauces secundarios
0.65	Velocidades, profundidades y cotas del agua en el cauce principal y los cauces secundarios
0.20	Velocidades, profundidades y cotas del agua en el cauce principal y los cauces secundarios
3.04	Cotas del agua en los cauces secundarios

trabajos topográficos se utilizó una estación total y los elementos complementarios correspondientes.

Obtención de datos hidráulicos (velocidades, profundidades y caudales). Se realizaron tres aforos como mínimo en cada sección transversal con la finalidad de determinar el caudal y la distribución de velocidades en cada una de ellas. En el espaciado de los puntos de medición se tuvieron en cuenta los requerimientos mínimos para efectuar correctamente el aforo correspondiente (Herschy, 1999).

Para los trabajos hidráulicos se utilizó un correntómetro electromagnético con rango de medición de

velocidades de ± 5 m/s en 5 cm de tirante de agua, con precisión de ± 5 % de la lectura, provisto de una unidad de despliegue y almacenamiento de datos que tiene la posibilidad de promediar varias lecturas.

Rugosidad. Los valores del coeficiente de rugosidad de Manning para cauces naturales con las características del tramo de estudio, se obtuvieron con base en los valores propuestos por Henderson (1966), los cuales variaron entre 0.035 y 0.045.

Datos complementarios de hábitat: sustrato y refugio. La información de hábitat se obtuvo a la par

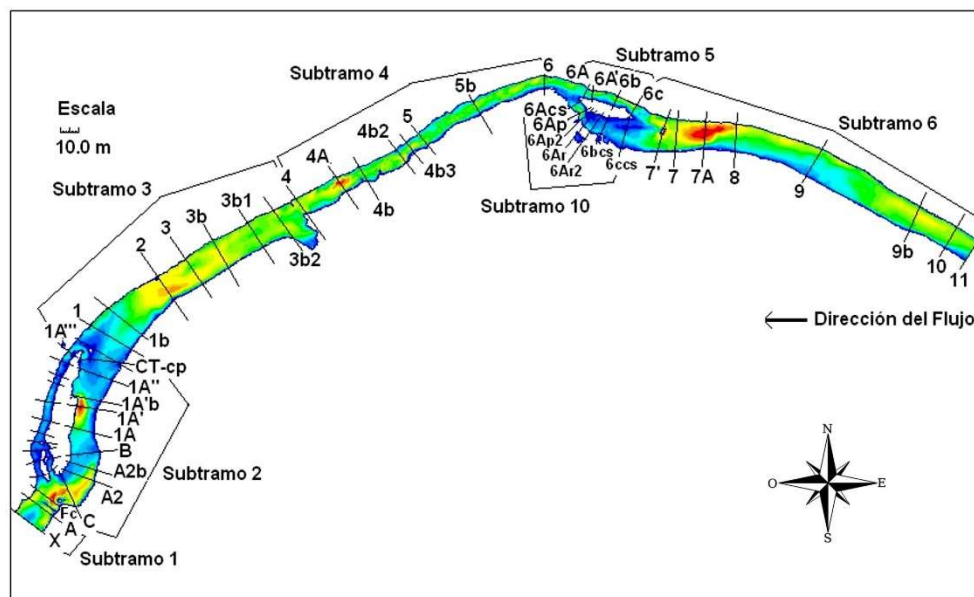


Figura 4. Secciones transversales y subdivisiones del tramo del río Lozoya respecto a las que se efectuaron las simulaciones de la hidrodinámica y del hábitat.

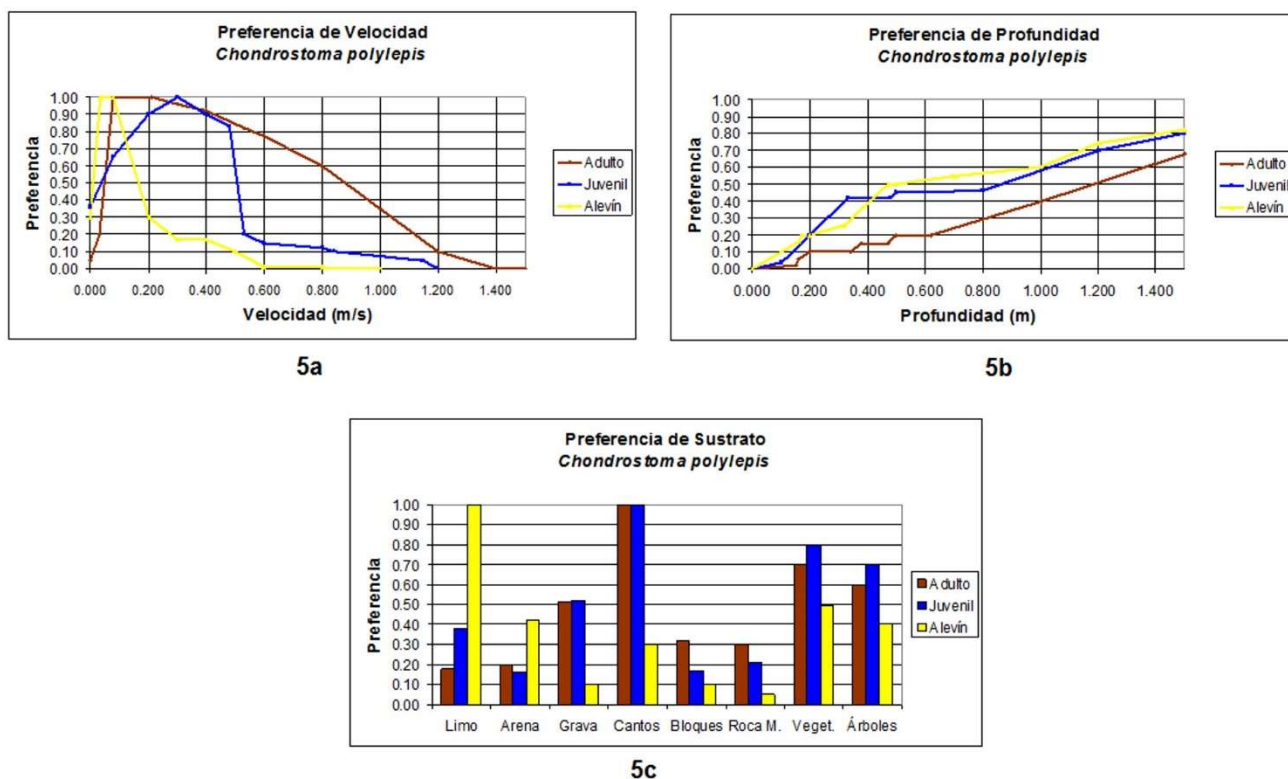


Figura 5. Curvas de preferencia de hábitat para velocidad (5a), profundidad (5b) y tipo de sustrato (5c) de la especie *Chondrostoma polylepis* (García de Jalón, 2000).

con la obtención de la topografía y la hidrometría en cada punto de las mismas.

Sustrato. La clasificación del sustrato se basó en la utilizada por Platts *et al.* (1983), la cual corresponden con las clases de tamaño aceptadas por la American Geophysical Union (AGU).

Refugio. Se utilizó una curva de preferencia denominada “sustrato” (Figura 5c) en la que se encuentran integrados elementos de sustrato propiamente dicho y elementos de refugio.

Simulación del hábitat

Curvas o modelos de preferencia de hábitat

En la simulación del hábitat se utilizaron las curvas de preferencia de hábitat de la especie *Chondrostoma polylepis* (Figura 5), desarrolladas por García de Jalón (2000) con datos de Martínez (2000) obtenidos mediante observación directa por buceo. Se trata de curvas de preferencia de categoría III (Bovee, 1998) corregidas por disponibilidad de hábitat. La corrección se apoya en el principio de que los organismos

seleccionan el hábitat más favorable, pero si no tiene disponible este tipo de hábitat, seleccionarán otro dentro de las opciones que se le presenten; y consiste en comparar la cantidad de hábitat utilizado por el organismo en cierta área, con la cantidad disponible en la misma área, obteniendo un índice de preferencia.

Las curvas de preferencia de hábitat de las especies ícticas integran los atributos de la celda de cálculo (*i.e.* velocidad, profundidad, e índice de cauce) para estimar la cantidad y calidad del hábitat. El índice de cauce se refiere al requerimiento de tipo de sustrato, refugio, o una combinación de ambos. La unidad de medida que se utiliza es el HPU en metros cuadrados por cada 1000 m de longitud de río. El cálculo se efectúa de acuerdo con la ecuación 1.

$$HPU = \frac{\sum_{i=1}^n A_i * FCC_i}{Longitud.del.Tramo/(1000metros)} \quad (1)$$

Donde:

A_i = Área representada por la celda i a nivel de la superficie del agua

FCC_i = Factor de Conveniencia Compuesto de la celda i

El método más común para el cálculo del Factor de Conveniencia Compuesto (FCC) de una celda es el de la integración multiplicativa, el cual se aplica a partir de la ecuación 2 (Bovee, 1998).

$$FCC_i = V_i * D_i * S_i \quad (2)$$

Donde:

V_i = Conveniencia asociada a la velocidad en la celda i

D_i = Conveniencia asociada a la profundidad en la celda i

S_i = Conveniencia asociada al índice de cauce en la celda i

El cálculo de HPU se efectuó en cada celda en la que se simuló la velocidad y profundidad del agua.

Resultados y discusión

Alturas de la superficie libre del agua (ASLA's). En términos generales se observó un buen ajuste de los perfiles de flujo simulados respecto a los medidos. Los errores medios absolutos de simulación y calibración de las alturas de la superficie libre del agua (ASLA's) de las secciones transversales del cauce principal, fueron de 3, 8 y 7 mm para las ASLA's de calibración (*i.e.* para los caudales de 0.20, 1.45 y 4.00 m³/s) y 11 mm para la ASLA predicha (*i.e.* para el caudal de 0.65 m³/s), respecto a las ASLA's medidas.

Los errores medios absolutos de simulación y calibración de las ASLA's de las secciones transversales ubicadas en los cauces secundarios, fueron de 1 y 4 mm para las ASLA's de calibración (*i.e.* para los caudales de 1.45 y 4.00 m³/s a cauce completo) y de 14 mm para la ASLA predicha (*i.e.* para el caudal de 1.97 m³/s, a cauce completo), respecto a las ASLA's medidas.

Velocidades. Se simularon los perfiles de velocidades utilizando dos juegos de velocidades medidas para calibrar el modelo (*i.e.* las obtenidas para los caudales de 4.00 y 1.45 m³/s). La figura 6 muestra, a

manera de ejemplo, los perfiles de velocidades medidas y simuladas en la sección transversal 1A, cuya ubicación se puede ver en la figura 4. Asimismo, se utilizó el perfil de velocidades medidas para el caudal intermedio (*i.e.* 1.45 m³/s) para predecir el perfil de velocidades del caudal inferior (0.65 m³/s), por ser el más cercano de los dos con los que se contó con fines de calibración. En la sección 1A se observa, en términos generales, un buen ajuste de los perfiles de velocidades simuladas respecto a las medidas.

El valor promedio de los errores de las 39 secciones transversales ubicadas en el cauce principal, es mayor para el caudal de predicción (*i.e.* error de 0.061 m/s para el caudal de 0.65 m³/s) que el calculado para los caudales de calibración (*i.e.* errores de 0.029 y 0.026 m/s para 1.45 y 4.0 m³/s, respectivamente). El valor del promedio de los errores relativos correspondientes a estas 39 secciones fueron del 28, 9 y 7 % para las velocidades de los caudales de 0.65, 1.45 y 4.0 m³/s, respectivamente.

Es importante mencionar que, el hecho de que la diferencia del error relativo calculado para el caudal de predicción sea aproximadamente tres veces mayor que el de los caudales de calibración, indica que hay un grupo de secciones en las que la forma en que se distribuye el flujo en el caudal de calibración utilizado para obtener el perfil de velocidades del caudal de predicción, tiene diferencia importante, en general o en parte, respecto a la forma en la que se distribuye el flujo, en la realidad, para este último.

Respecto a las 21 secciones transversales ubicadas en los cauces secundarios, el valor promedio de los errores es mayor para el caudal de predicción (*i.e.* error de 0.082 m/s para el caudal de 1.97 m³/s) que el calculado para los caudales de calibración (*i.e.* error de 0.044 m/s para 1.45 y 4.0 m³/s). El valor del promedio de los errores relativos correspondientes a estas 21 secciones son del 54, 40 y 18 % para las velocidades de los caudales de 1.97, 1.45 y 4.0 m³/s, respectivamente. Estos errores son relativamente grandes; sin embargo, cabe mencionar que son promedios generales y que se consideraron aceptables debido a las dificultades para calibrar los modelos de la hidrodinámica en zonas muy someras y para hacer mediciones precisas en estas mismas zonas, particularmente en los rabiones.

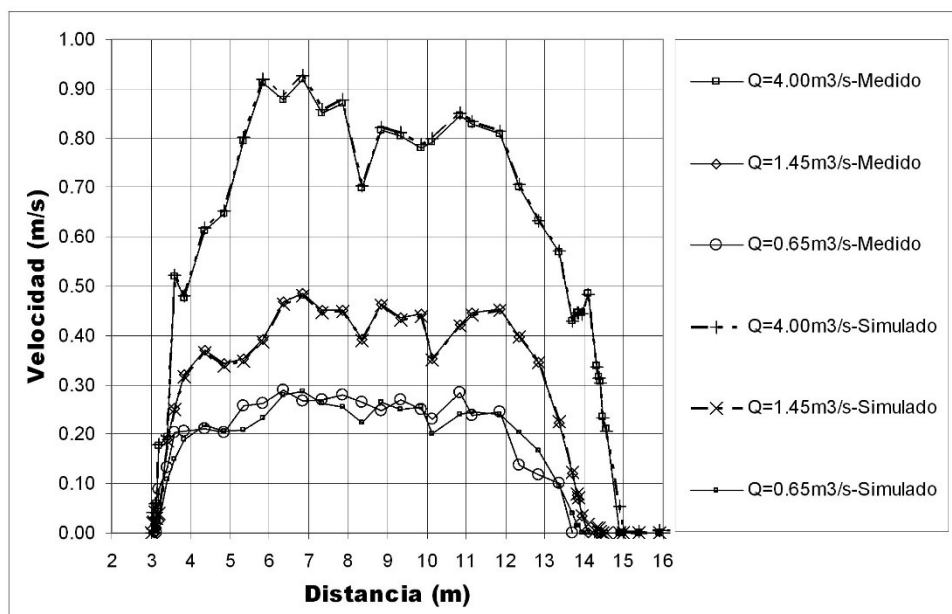


Figura 6. Perfiles de velocidades medidas y simuladas en la sección transversal 1A (cauce principal).

Simulación del hábitat ictiológico

En el cuadro 2 se encuentran los resultados del HPU estimado para la especie *Chondrostoma polylepis* y sus diferentes estadios de desarrollo, en cada celda de cada subtramo, integrando el HPU para el tramo completo.

A partir de los datos del cuadro 2 se obtuvieron las curvas Caudal-HPU (Figura 7) para la especie objetivo. Se puede ver que el caudal que maximiza el HPU para el estadio de vida juvenil es de 1.5 m³/s, de 0.65 m³/s para el estadio de vida alevín, y de 4.00 m³/s para el estadio de vida adulto.

La calidad de la simulación del hábitat depende, fundamentalmente, de la calidad de la simulación de la hidrodinámica fluvial y de la calidad de los modelos de preferencia de hábitat de la(s) especie(s) objetivo.

Simulación de la hidrodinámica. Se utilizó el método del paso estándar y las curvas de calibración de las secciones transversales, dependiendo de la ubicación de cada una de estas en el tramo del río en estudio. Estos métodos son aceptados y se utilizan constantemente en proyectos de ingeniería, teniendo en

Cuadro 2			
Hábitat Potencialmente Utilizable para la especie <i>Chondrostoma polylepis</i> en sus estadios adulto, juvenil y alevín, para un tramo del río Lozoya.			
	Estadio		
	Adulto	Juvenil	Alevín
Caudal (Q) m³/s	HPU m²	HPU m²	HPU m²
0.20	236	697	396
0.65	570	1087	439
1.45	766	1387	363
4.00	955	1156	251

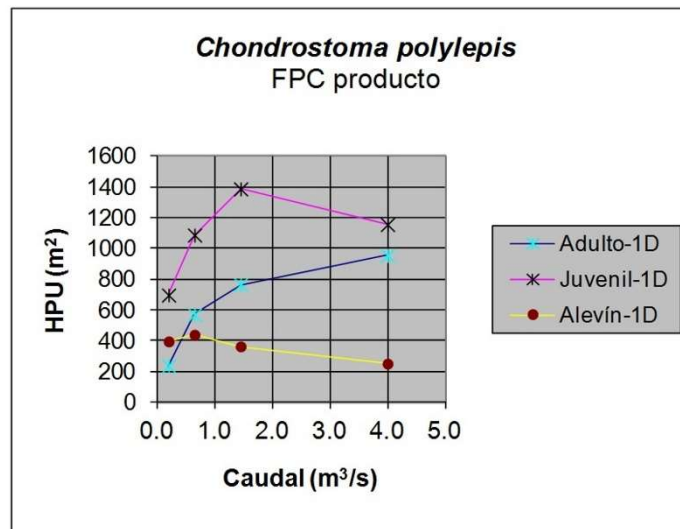


Figura 7. Curvas Caudal-Hábitat Potencialmente Utilizables obtenidas para la especie *Chondrostoma polylepis*, en un tramo del río Lozoya.

cuenta las correspondientes restricciones en su aplicación.

Para representar adecuadamente la topografía del cauce y el comportamiento del flujo en el mismo, se utilizó toda la información de campo que se consideró necesaria con la finalidad compensar, de la mejor manera posible, las limitaciones de los modelos unidimensionales en cuanto a la simulación de los movimientos transversales del flujo.

En el presente trabajo, en el 94 % de los casos de las ASLA's de calibración, los errores de estimación se sitúan en el intervalo de 3 a 15 mm, así como el 72 % de los casos de las ASLA's de simulación, por lo tanto, se considera que en términos generales se ha obtenido un ajuste adecuado de los perfiles de flujo simulados respecto a los medidos, de acuerdo con las recomendaciones de Waddle (2001, Midcontinent Ecological Science Center), quien establece como guía general que se pueden lograr ajustes con diferencias (errores) de 3 a 6 mm entre las alturas de la superficie libre del agua (ASLA's) medidas y simuladas, pudiendo existir diferencias que pueden salir de este intervalo y situarse entre 9 y 15 mm. Si se tiene en cuenta que en el tramo de estudio del río Lozoya se ubicaron 21 secciones transversales en cauces secundarios y otras tantas en rabiones, en las que tanto la precisión en la obtención de la información de campo como la simulación de la hidrodinámica representan retos importantes que pueden dar origen

a errores mayores a los comprendidos en los intervalos antes señalados, el ajuste se considera, también, adecuado.

Simulación de las velocidades

El modelo VELSIM (del sistema PHABSIM) que se empleó para la simulación de las velocidades en las secciones transversales, ha dado buenos resultados en términos generales para el tramo de estudio, siendo determinante el haber contado con varios perfiles de velocidades medidos en campo, en un amplio intervalo de caudales.

Curvas de preferencia y simulación del hábitat.

Los modelos de preferencia de hábitat constituyen uno de los elementos críticos en la simulación del hábitat físico fluvial. Los modelos que se utilizaron en el presente trabajo fueron desarrollados mediante observación subacuática de los individuos y caracterizando el hábitat de los sitios marcados durante tal observación.

Conclusiones

La simulación de las alturas de la superficie libre del agua (ASLA's), utilizando el método del paso estándar y las curvas caudal-ASLA de las secciones transversales, ha dado resultados adecuados en el tramo de estudio del río Lozoya. Para efectuar dicha simulación con la precisión adecuada, fue fundamental contar con la cantidad mínima de tres pares de valores caudal-ASLA en cada sección transversal, con



lo que se pudo elaborar la curva de calibración correspondiente y, también, calibrar el modelo basado en el método del paso estándar.

En las curvas Caudal-Hábitat Potencialmente Utilizable (Q-HPU) se puede observar la evolución del HPU en función del caudal que circula por el tramo en estudio del río Lozoya, pudiéndose identificar que el caudal que maximiza el HPU es de 1.5 m³/s para el estadio de vida juvenil y 0.65 m³/s para el estadio de vida alevín; mientras que para el estadio de vida adulto, el HPU crece hasta alcanzar su máximo en 4.00 m³/s.

Estos resultados constituyen una aportación importante a la toma de decisiones para la gestión del recurso hídrico, ya que conocer las curvas Q-HPU aporta información valiosa al gestor de los recursos fluviales y a los diferentes usuarios de los mismos, particularmente mediante los caudales que maximizan el HPU para determinar regímenes de caudales ecológicos que permitan establecer la cantidad de agua necesaria para atender el uso para la conservación del ecosistema del río Lozoya y, en consecuencia, al cuidado de su belleza paisajística, fijando máximos a extraer para diferentes usos, de cara a su gestión sostenible correspondiente.

Referencias

- Bovee, K.D., 1992, A guide to stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology, *Fort Collins, CO., U.S. Fish and Wildlife Service*, 251 pp.
- Bovee, K.D., Lamb, B.L., Bartholow, J.M., Stalnaker, C.B., Taylor, J. and Enriksen, J., 1998, Stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology, *Fort Collins CO, U.S. Geological Survey, Biological Resources Division Information and Technology Report USGS/BRD-1998- 0004*, viii+131 pp.
- Doadrio, D., 2002, Atlas y Libro Rojo de los Peces Continentales de España, Madrid, *Editor: Ignacio Doadrio. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), Ministerio de Medio Ambiente*, Segunda Edición, 364 pp.
- Fernández, L., 1915, Monografía Geológica del Valle del Lozoya, Madrid, *Imprenta Clásica Española*, 100 pp.
- García de Jalón, D., 2000, Curvas de preferencia de hábitat de la especie *Chondrostoma polylepis*. Comunicación personal.
- García de Jalón, D., Schmidt, G., and González del Tánago, M., 2002, La pesca en las Aguas de la Comunidad de Madrid, Madrid, *Ed. Mundi-Prensa, S. A.*, 159 pp.
- Henderson, F.M., 1966, Open channel flow, New York, *Macmillan Pub. Co., Inc.*, 522 pp.
- Herschy, R.W., Editor, 1999, HYDROMETRY Principles and Practices. Chichester, West Sussex, England, *John Wiley and Sons, INC.*, Segunda Edición, 376 pp.
- Karr, J.R., Fausch, K.D., Angermeier, P.L., Yant, P.R., and Schlosser, I.J., 1986, Assessing Biological Integrity in Running Waters a Method and Its Rationale, *Champaign, Illinois Natural History Survey. Special Publication*. U.S.A., 28 pp. ISSN 0888-9546.
- Martínez, F., 2000, Preferencia de microhábitat de *Chondrostoma polylepis*, *Chondrostoma polylepis* y *Leuciscus pyrenaicus* en la cuenca del río Tajo: Tesis Doctoral, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de la Universidad Politécnica de Madrid.
- Masachs, V., 1948, El Régimen de los Ríos Peninsulares, Barcelona, *CSIC - Instituto de Investigaciones Geológicas*, 511 pp.
- Milhou, R.T., Updike, M.A., and Schneider, D.M., 1989, Physical Habitat Simulation System Reference Manual - Version II. Instream Flow Information Paper No. 26, Washington D.C., *U.S. Fish and Wildlife Service, Biological Report*, 89 (16), 1-403.
- Milhou, R.T., Wegner, D.L., and Waddle, T.J., 1981, Physical Habitat Simulation System User's Guide. Instream Flow Information Paper No. 11, Washington D.C., *U.S. Fish and Wildlife Service*, 475 pp. FWS/OBS-81/43.
- Platts, W.S., Megahan W.F., and Minshall, G.W., 1983, Methods for evaluating stream riparian and biotic conditions, *USDA Forest Service, General Tech. Report*. INT-138. Ogden, UT, 70 pp.
- Reiser, D.W., Wesche, T.A., and Estes, C., 1989, Status of instream flow legislation and practise in North America, *Fisheries*, 14 (2), 22-29.
- Waddle, T.J., 2001, PHABSIM for Windows: user's manual and exercises. *Fort Collins CO, U.S. Geological Survey, Open-File Report* 01-340, 288 pp.