

Influencia del régimen de caudales en los movimientos reproductivos de la trucha común en la Península Ibérica

Flow regime influence on the reproductive movements of the brown trout in the Iberian Peninsula

García-Vega, A.^{1*}; Sanz-Ronda, F.J.¹; Fuentes-Pérez, J.F.²;
Bravo-Córdoba, F.J.¹; Leunda, P.M.³

¹*U.D. Hidráulica e Hidrología. Universidad de Valladolid.
Avenida de Madrid 44, Campus La Yutera, 34004, Palencia, España.*

²*Centre for Biorobotics, Tallinn University of Technology. Akademia tee 15A, 12618, Tallinn, Estonia.*

³*Gestión Ambiental de Navarra, S.A. Calle Padre Adoain, 219 bajo, 31015, Pamplona, España.*

Autor para correspondencia: ana.garcia.vega@iaf.uva.es

Resumen

La trucha común (*Salmo trutta*) es una especie ampliamente distribuida a lo largo del mundo y de gran importancia social y económica. En general, el descenso de la temperatura del agua y el aumento de caudal estimulan su migración reproductiva. Por lo tanto, alteraciones antropogénicas de estos factores pueden causar impactos negativos en sus poblaciones. El objetivo de este trabajo es entender las consecuencias de alteraciones artificiales en el régimen de caudales sobre la migración de la trucha común. Para ello, se comparan las capturas de trucha en escalas para peces (puntos obligatorios de paso para la migración) en dos ríos de la Península Ibérica sometidos a diferentes regímenes hidrológicos (atlántico y mediterráneo) y bajo diferentes escenarios de regulación de caudales. Los resultados de este trabajo muestran que el aumento del caudal estimula los movimientos e influye significativamente en el inicio y mantenimiento de la migración reproductora. Además, los diferentes regímenes de caudales provocan diferencias en las fechas medias de migración. Conocer los factores que influyen en la migración de la trucha común será muy útil para definir estrategias para su conservación y manejo (*e.g.* definición de caudales ecológicos, funcionamiento de pasos para peces, períodos y cupos de pesca, etc.).

Palabras clave: *Salmo trutta*; migración piscícola; regulación de caudales; escalas para peces.

Abstract

Brown trout (*Salmo trutta*) is a worldwide distributed species with a great social and economic importance. Its reproductive migration is generally triggered by the decrease in water temperature and the increase in flow rate. Therefore, anthropogenic alterations in these factors may cause negative impacts on its populations. The main goal of this study is to understand the consequences on brown trout migration caused by artificial alterations in the flow regimen. To achieve this, brown trout captures in two fishways (mandatory pass points during migration) located in two rivers of the Iberian Peninsula with different flow regimens and under two different regulation scenarios (regulated and non-regulated) are analyzed. Results show that the increase in flow rate triggers the movement and significantly influences the onset and maintenance of reproductive migration. In addition, the different flow regimens situated migration peaks in different dates. The knowledge about the factors that influence the brown trout migration is crucial to define conservation and management strategies for this species (*e.g.* definition of environmental flows, fishways operation dates or fishing periods and quotas).

Keywords: *Salmo trutta*; fish migration; flow regulation; fishways.

1. Introducción

La trucha común (*Salmo trutta*) es una especie ampliamente distribuida, que se extiende de forma natural por toda Europa, norte de África y Asia occidental, y que ha sido introducida en el sur de África, Rusia, Australia, Nueva Zelanda y América del Norte y del Sur (Jonsson & Jonsson, 2011). Es una de las especies más destacadas en la Península Ibérica tanto por su valor ecológico, como deportivo y económico (Doadrio, 2002). Está catalogada como *en peligro crítico* en Portugal y como *vulnerable* en España, siendo la regulación de los ríos uno de los mayores impactos sobre las poblaciones autóctonas (SIBIC 2014).

La regulación de los ríos como consecuencia de las necesidades humanas (*e.g.* producción de electricidad, abastecimiento, riego, control de avenidas, etc.) supone graves impactos para la fauna acuática (Nilsson *et al.*, 2005). Por un lado, las estructuras transversales (presas y azudes) suponen la ruptura de la continuidad longitudinal, impidiendo o dificultando la realización de desplazamientos longitudinales necesarios para poder completar sus ciclos vitales (Lucas *et al.*, 2001). Por otro lado, la detración de caudales, la amortiguación de avenidas o las sueltas de fondo de los embalses, alteran los regímenes hídricos y térmicos de los ríos (Baeza *et al.*, 2003). La temperatura del agua y el caudal funcionan como estímulos para iniciar y mantener las migraciones piscícolas (Jonsson & Jonsson, 2011). Además, intervienen en multitud de funciones biológicas (desarrollo, maduración, alimentación, etc.) e influyen en la disponibilidad y calidad del hábitat (Jonsson & Jonsson, 2011). Por tanto, entender el efecto de estas variables en los desplazamientos piscícolas y las posibles consecuencias de sus alteraciones es vital para predecir futuras respuestas y establecer medidas de mitigación y compensación.

Muchos autores han investigado y recopilado información sobre esta especie (Northcote & Lobón-Cerviá, 2008), sin embargo la mayoría se centra en las poblaciones anádromas en el norte de su distribución natural. El objetivo de este estudio es conocer las diferencias entre los patrones de movimiento de la trucha común potamódroma en el sur de su distribución natural y en dos ríos sometidos a regímenes hidrológicos diferentes, con el fin de determinar las épocas con mayor movimiento, analizar la influencia de las variables ambientales y evaluar las consecuencias de alteraciones artificiales en el régimen de caudales sobre su migración.

2. Materiales y métodos

2.1. Área de estudio

Se va a estudiar la migración de la trucha en dos tramos de ríos diferentes, uno ubicado en el río Porma (Vegas del Condado (León), cuenca del Duero) y otro en el río Marín (Oronoz-Mugairi (Navarra), cuenca del Bidasoa) (*Figura 1 y Tabla 1*). El río Porma se encuentra regulado para riego, abastecimiento, control de avenidas

y producción hidroeléctrica, mientras que el río Marín solo tiene pequeños aprovechamientos hidroeléctricos. Las producciones hidroeléctricas de ambos ríos no producen hidro-puntas.

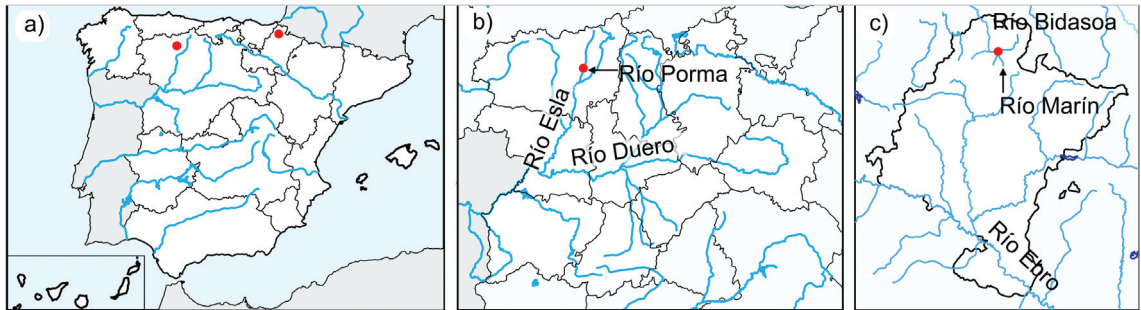


Figura 1. Área de estudio: a) Localización de los tramos de estudio en la Península Ibérica. b) Localización del área de estudio del río Porma en Castilla y León. c) Localización del área de estudio del río Marín en Navarra.

Tabla 1. Principales características de los tramos de río estudiados y de las escalas utilizadas para el seguimiento de la migración (Q_m = caudal medio anual; T_m = temperatura del agua media anual; H_{azud} = altura del azud; L_{azud} = longitud del azud; n = número de estanques; b = anchura del vertedero/hendidura/orificio; p = altura del umbral del vertedero/hendidura; a = altura del orificio; ΔZ = desnivel entre estanques; B = anchura del estanque; L = longitud del estanque; Q = caudal de diseño; VPD = potencia disipada de diseño).

Río	Municipio	Coordenadas	Altitud (msnm)	Zona (Huet)	Zona (Illies)	Categoría cauce (Rosgen y Silvey)	Q_m (m ³ /s)	T_m (°C)
Porma	Vegas del Condado (León)	42°41'N 5°21'W	860	Trucha	Metarhitron	C4: lecho de gravas, sinuosidad moderada, pendiente 0,001-0,02 m/m	14,21	10,2
Marín	Oronoz-Mugairi (Navarra)	43°8'N 1°36,5'W	160	Trucha	Epirhitron	A3: lecho cantos rodados, sinuosidad baja, pendiente 0,04-0,099 m/m	2,08	11,6

Azud	H_{azud}	L_{azud}	Tipo Escala	n	b (m)	p (m)	axb (m ²)	Z (m)	B (m)	L (m)	Q (m)	VPD (W/m ³)
Vegas del Condado	1,8	39	Hendiduras verticales	8	0,2	0	-	0,2	1,6	2,4	0,35	180
Oronoz-Mugairi	4,5	24	Vertedero y orificio sumergidos	14	0,2	0,65	0,17x0,17	0,25	1,3	2,1	0,15	140

2.2. Diseño experimental

El seguimiento de la migración (desde el 1 de octubre de 2011 hasta el 31 de enero de 2013, total = 70 semanas) se realizó en escalas para peces (Tabla 1), pues al ser puntos obligatorios de paso, permiten la cuantificación del número de migrantes.

En el caso de la escala del río Porma en Vegas del Condado, el sistema de seguimiento fue un contador de peces (VAKI Riverwatcher). El contador registra el momento de paso (día y hora), la silueta del pez, la altura del pez (transformada en longitud furcal (LF) mediante la relación biométrica $LF = 4,96 \times \text{altura} + 4,48$ ($n = 24$; rango LF = 145-320 mm; $R^2 = 0,92$), la dirección de movimiento y la temperatura del agua. La altura del pez mínima de detección es 40 mm, *i.e.*, LF = 200 mm, y se corresponde con la talla que alcanza la trucha común cuando se produce la primera maduración sexual, entre los 2+ y 3+ años de edad (Doadrio, 2002; Laplanche *et al.*, 2019), es decir, la talla para clasificar adultos y juveniles. En el caso de la escala del río Marín en Oronoz-Mugairi, el sistema de seguimiento se realizó mediante revisiones periódicas de la escala (2-3 veces por semana, aumentando la frecuencia a una vez al día durante las épocas de mayor movimiento). Para ello, se cerraba la escala, se capturaban los peces, se medía la LF y se liberaban aguas arriba del azud.

El fotoperiodo, la temperatura del agua y el caudal fueron considerados como las variables ambientales que podrían influir en los movimientos ascensionales (Jonsson & Jonsson, 2011). El fotoperiodo (P, en h) se corresponde con el tiempo entre el orto y el ocaso, calculado con el modelo de Brock (1981). La temperatura del agua (T, en °C) fue registrada mediante sensores de temperatura instalados en ambas piscifactorías (datos horarios). El caudal (Q, en m³/s) del río Porma se obtuvo a través de la estación SAIH 2112 Secos del Porma (datos cada 10 min), mientras que el del río Marín, al no estar aforado, se obtuvo por comparación de cuencas con su afluente aforado el río Zeberi (AN943 Oronoz-Mugairi, datos diarios).

2.3. Análisis estadísticos

Con el objeto de realizar comparaciones entre ambos sitios, el número de capturas (solo individuos con LF > 200 mm, *i.e.*, truchas adultas) se agruparon por semanas y se determinaron las variables ambientales (P, T y Q) medias semanales. Se realizó un análisis de frecuencias del número de capturas por sitio, semana y mes, determinando la semana media de la migración reproductiva para los dos años considerados dentro del periodo de estudio. El test de Mann-Whitney Wilcoxon se utilizó para comparar el tamaño de las capturas, así como las variables ambientales en ambos sitios. La relación entre el número de migrantes y las variables ambientales se analizó mediante correlaciones de Spearman (variables sin distribución normal). Todos los análisis se realizaron con el programa estadístico R (versión 3.3.2) (R Core Team, 2016).

3. Resultados y discusión

3.1. Características de los peces capturados

Durante todo el periodo de estudio, se contabilizaron un total de 670 truchas en el río Porma, mientras que en el río Marín se capturaron del orden de 5 veces

más, 3321 truchas. Además, se encontraron diferencias significativas en la longitud furcal de ambas poblaciones ($W = 818760$, $p\text{-valor} < 0,0001$), siendo las truchas del Marín más grandes (LF media \pm desviación estándar = $315,8 \pm 76,1$ mm; mediana = 300 mm; rango = 200-650 mm) que las del Porma (LF media \pm desviación estándar = $298,3 \pm 106,6$ mm; mediana = 252,6 mm; rango = 202,9-689,2 mm) (*Figura 2*). En general, el tamaño y estructura de las poblaciones de trucha varía en función de las condiciones locales, como la cantidad y calidad de hábitat, abundancia de alimento, presencia de depredadores, presiones antrópicas, etc. (Lobón-Cerviá, 2007).

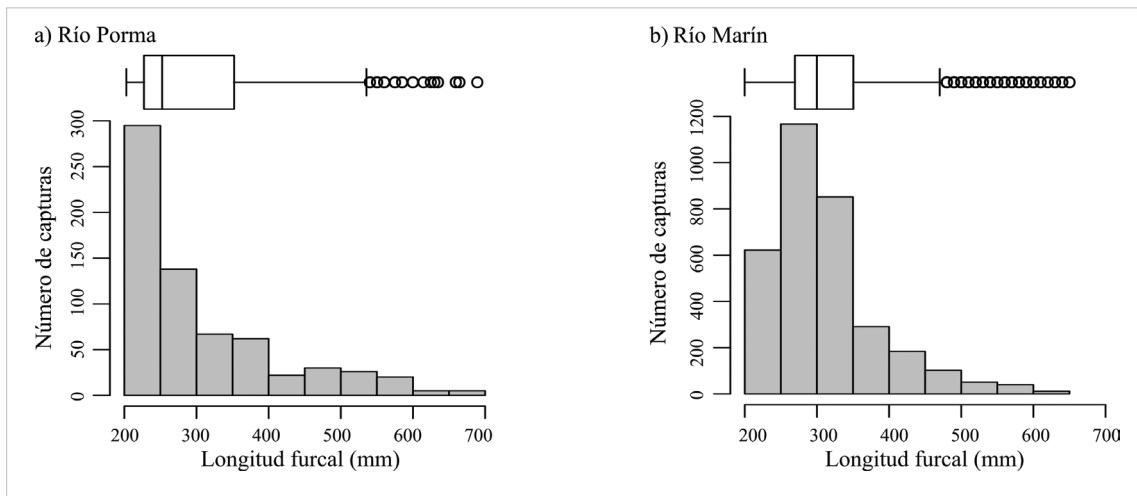


Figura 2. Diagrama de caja e histograma de la longitud furcal de las truchas de tamaño adulto capturadas en: a) el río Porma y en: b) el río Marín.

3.2. *Períodos de movimiento y relación con las variables ambientales*

Durante los meses de noviembre y diciembre se detectaron la mayor cantidad de movimientos (*Figura 3*). Este periodo coincide con la época reproductiva de la trucha común, que para la Península Ibérica ocurre durante otoño e invierno (Doa-drio, 2002).

La migración reproductiva en el río Porma ocurrió antes que en el río Marín para los dos periodos considerados en el estudio. En concreto, para el año 2011-12, la fecha de migración media en el río Porma ocurrió en la semana 9 (26/11/2011-02/12/2011) mientras que en el río Marín fue en la semana 12 (17/12/2011-23/12/2011) y para el año 2012-13 ocurrió en la semana 57 (27/10/2012-02/11-2012) para el río Porma mientras que para el río Marín fue en la semana 60 (17/11/2012-23/11/2012). En general, la migración ocurre antes cuanto mayor sea la latitud y altitud, debido a las bajas temperaturas del agua y los periodos de incubación más largos (Gortázar *et al.*, 2007; Klemetsen *et al.*, 2003). Los patrones de migración también difirieron, ocurriendo de forma más concentrada en el río Marín y más continuada en el río Porma (*Figura 3c*).

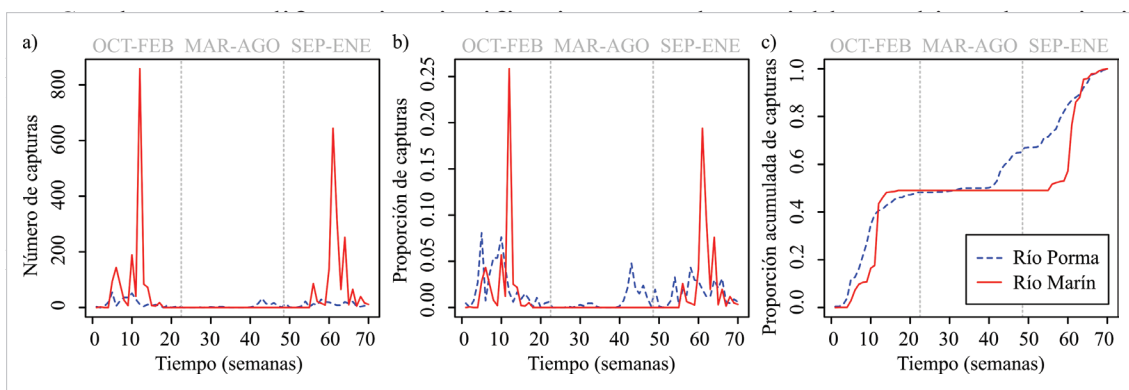


Figura 3. Patrones de migración en el río Porma y en el río Marín: a) número, b) proporción y c) proporción acumulada de capturas a lo largo del tiempo.

Los periodos de migración reproductiva están desencadenados por un descenso en el fotoperiodo y, en general, por una disminución en la temperatura del agua y un aumento del caudal (*Figura 4* y *Tabla 3*). El fotoperiodo es un indicador de la estación para los peces e interviene en la regulación hormonal durante la maduración sexual de los individuos (Jonsson & Jonsson, 2011). Sin embargo, al ser igual todos los años y casi idéntico en ambos sitios (la duración del día depende de la latitud), las diferencias en las fechas medias observadas son atribuidas a los demás factores ambientales. La temperatura del agua es un factor clave en la migración re-

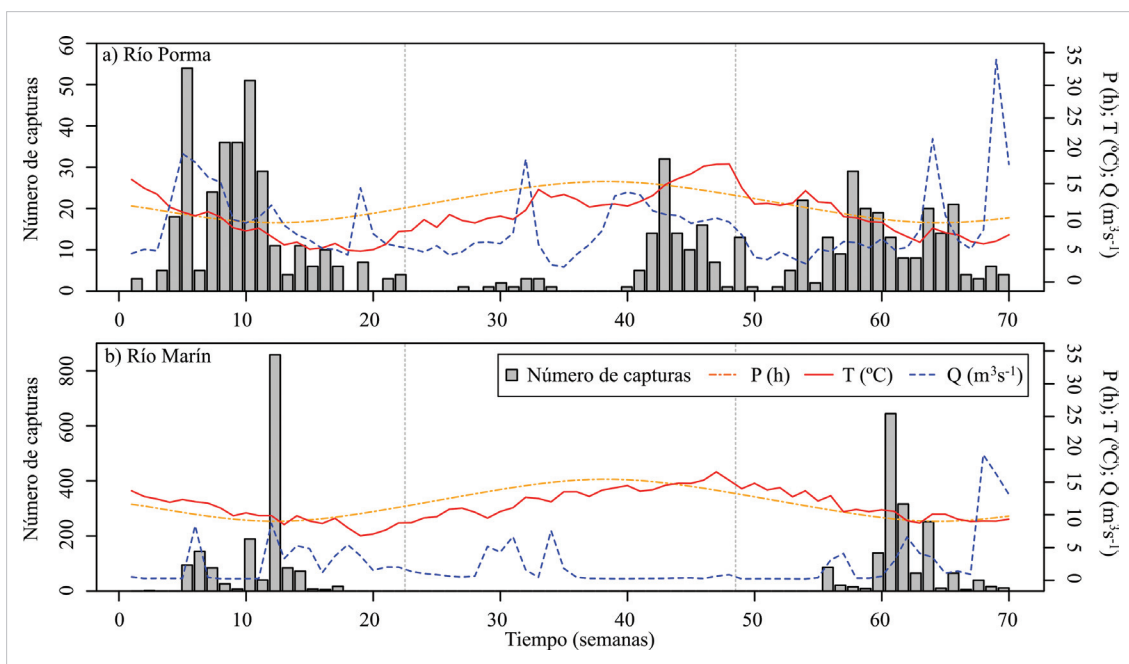


Figura 4. Representación del número de capturas a lo largo del tiempo en relación con las variables ambientales consideradas: fotoperiodo (P), temperatura del agua (T) y caudal (Q). Líneas verticales representan la separación de los periodos de otoño-invierno y primavera-verano.

Tabla 2. Resultados del test de Mann-Whitney Wilcoxon para la comparación de las variables ambientales consideradas (P = fotoperiodo; T = temperatura del agua; Q = caudal) entre ambos ríos y para los diferentes subperiodos considerados durante el periodo de estudio (número superior = estadístico W; número inferior = p-valor).

Comparativa	P	T	Q
Río Porma vs Río Marín (todo el periodo de estudio)	2482 0,8939	1856 0,0133	4375 < 0,0001
Río Porma vs Río Marín (periodo: octubre 2011 – febrero 2012)	256 0,7537	149 0,0289	445 < 0,0001
Río Porma vs Río Marín (periodo: marzo 2012 – agosto 2012)	323 0,7925	293 0,4186	638 < 0,0001
Río Porma vs Río Marín (periodo: septiembre 2012 – enero 2013)	255 0,7715	150 0,0307	400 0,0001
Río Porma (migración 2011-12 vs migración 2012-13)	218 0,5847	175,5 0,1185	314 0,0935
Río Marín (migración 2011-12 vs migración 2012-13)	218 0,5847	167 0,0803	255 0,7715

productiva (Jensen & Aass, 1995; Jonsson & Jonsson, 2011), ya que influye en los procesos fisiológicos internos que permiten el desarrollo de las gónadas (Lahnsteiner & Leitner, 2013) y en los costes energéticos y metabólicos (Jonsson & Jonsson, 2011). Estas variaciones han de estar dentro de un rango específico, ya que temperaturas más bajas pueden retrasar la maduración y temperaturas más altas pueden tener efectos deletéreos en los gametos (Jonsson & Jonsson, 2011). Por último, el caudal es un factor esencial en la migración reproductiva, pues su aumento es considerado como un factor estimulante, facilita la ascensión y el paso de obstáculos y protege frente a depredadores (Ovidio & Philippart, 2002; Svendsen *et al.*, 2004).

Además, se observaron movimientos fuera del periodo reproductivo en el río Porma (*Figura 4*), principalmente durante la época estival (15%) y en menor medida en la primavera (2%). Estos movimientos estivales estuvieron asociados con el aumento de la temperatura y el caudal. En general, los salmónidos tienen baja tolerancia a las altas temperaturas y suelen realizar movimientos ascendentes con el fin de encontrar aguas frescas (Zimmer *et al.*, 2010). En el caso del río Porma, al realizar sueltas para riego, se provee de un caudal no habitual durante la estación estival, en contra de la sequía estival ocurrida en el Marín y característica en la Península Ibérica (*Figura 4*), lo que aumenta las oportunidades de migración. Sin embargo, estas sueltas de fondo con agua más fría retrasan estos movimientos con respecto a los observados en otras partes de la península, habituales entre mayo y junio (Sanz-Ronda *et al.*, 2016).

Por tanto, el estudio de ríos regulados y no regulados es vital para una gestión adecuada de nuestras masas de aguas y para poder identificar los impactos de las

Tabla 3. Correlaciones entre las variables consideradas (n = número de capturas; P = fotoperiodo; T = temperatura del agua; Q = caudal) para el periodo de migración reproductiva (septiembre-febrero) (número superior = coeficiente de correlación de Spearman; número inferior = p-valor). Por encima de la diagonal, valores correspondientes al año 2011-12 y por debajo de la diagonal al año 2012-13.

Río Porma					Río Marín				
	n	P	T	Q		n	P	T	Q
n		-0,5028	0,2305	0,6648	n		-0,7010	0,2645	0,0145
		0,0171	0,3021	0,0007			0,0003	0,2341	0,9490
P			0,3902	-0,3010	P			0,2671	-0,1462
		-0,3543		0,0736			0,0002		0,2286
T		0,8148		0,1732	T		0,8487		-0,4478
		0,0441	<0,0001	0,5112			0,0073	<0,0001	
Q		-0,6375	-0,6172		Q		-0,6815	-0,8035	
		0,7312	0,0018	0,0027			0,0001	0,0007	<0,0001

actividades humanas en sus regímenes de temperatura y caudal, que pueden influenciar el comportamiento y supervivencia de la ictiofauna de nuestros ríos.

Agradecimientos

Este estudio forma parte del proyecto “Estudio de la migración de los peces en entornos mediterráneos”, financiado por ITAGRA.CT y FUNGE-UVa. Los autores quieren agradecer a los Servicios de Pesca de la Junta de Castilla y León y del Gobierno de Navarra por la toma de datos y la ayuda proporcionada.

3. Bibliografía

- Baeza, D.; Martínez-Capel, F.; García de Jalón, D.; 2003. Variabilidad temporal de caudales: aplicación a la gestión de ríos regulados. *Ing. del agua* 10: 469-478.
- Brock, T.D.; 1981. Calculating solar radiation for ecological studies. *Ecol. Modell.* 14: 1-19. [https://doi.org/10.1016/0304-3800\(81\)90011-9](https://doi.org/10.1016/0304-3800(81)90011-9)
- Doadrio, I.; 2002. *Atlas y libro rojo de los peces continentales de España*. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- Gortázar, J.; García de Jalón, D.; Alonso-González, C.; Vizcaino, P.; Baeza, D.; Marchamalo, M.; 2007. Spawning period of a southern brown trout population in a highly unpredictable stream. *Ecol. Freshw. Fish* 16: 515-527. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2007.00246.x>
- Jensen, A.J.; Aass, P.; 1995. Migration of a fast-growing population of brown trout (*Salmo trutta* L.) through a fish ladder in relation to water flow and water temperature. *Regul. Rivers Res. Manag.* 10: 217-228. <https://doi.org/10.1002/rrr.3450100216>
- Jonsson, B.; Jonsson, N.; 2011. *Ecology of Atlantic Salmon and Brown Trout*. Springer.

- Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-007-1189-1>
- Klemetsen, A.; Amundsen, P.A.; Dempson, J.B.; Jonsson, B.; Jonsson, N.; O'Connell, M.F.; Mortensen, E.; 2003. Atlantic salmon *Salmo salar* L., brown trout *Salmo trutta* L. and Arctic charr *Salvelinus alpinus* L.: a review of aspects of their life histories. *Ecol. Freshw. Fish* 12: 1-59. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0633.2003.00010.x>
- Lahnsteiner, F.; Leitner, S.; 2013. Effect of temperature on gametogenesis and gamete quality in brown trout, *Salmo trutta*. *J. Exp. Zool. Part A Ecol. Genet. Physiol.* 319: 138-148. <https://doi.org/10.1002/jez.1779>
- Laplanche, C.; Leunda, P.M.; Boithias, L.; Ardaiz, J.; Juanes, F.; 2019. Advantages and insights from a hierarchical Bayesian growth and dynamics model based on salmonid electrofishing removal data Modelling. *Ecol. Modell.* 392: 8-21. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2018.10.018>
- Lobón-Cerviá, J.; 2007. Numerical changes in stream-resident brown trout (*Salmo trutta*): uncovering the roles of density-dependent and density-independent factors across space and time. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 64: 1429-1447. <https://doi.org/10.1139/f07-111>
- Lucas, M.C.; Baras, E.; Thom, T.J.; Duncan, A.; Slavík, O.; 2001. *Migration of freshwater fishes*. Wiley Online Library. Oxford. <https://doi.org/10.1002/9780470999653>
- Nilsson, C.; Reidy, C.A.; Dynesius, M.; Revenga, C.; 2005. Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. *Science* 308: 405-408. <https://doi.org/10.1126/science.1107887>
- Northcote, T.G.; Lobón-Cerviá, J.; 2008. Increasing experimental approaches in stream trout research: 1987-2006. *Ecol. Freshw. Fish* 17: 349-361. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2007.00281.x>
- Ovidio, M.; Philippart, J.C.; 2002. The impact of small physical obstacles on upstream movements of six species of fish. *Hydrobiologia* 483: 55-69. <https://doi.org/10.1023/A:1021398605520>
- R Core Team; 2016. *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. Vienna.
- Sanz-Ronda, F.J.; Bravo-Córdoba, F.J.; Ruiz-Legazpi, J.; Fuentes-Pérez, J.F.; García-Vega, A.; Valbuena-Castro, J.; González-Alemán, N.; 2016. Evaluate for understanding. The case of the most assessed fishway in Spain. In: Iberian Society of Ichthyology (ed.), *Abstract book of the VI Iberian Congress of Ichthyology SIBIC2016*: 27. Murcia.
- SIBIC; 2014. *Carta Piscícola Española*. Publicación electrónica (versión 01/2015).
- Svendsen, J.C.; Koed, A.; Aarestrup, K.; 2004. Factors influencing the spawning migration of female anadromous brown trout. *J. Fish Biol.* 64: 528-540. <https://doi.org/10.1111/j.0022-1112.2004.00319.x>
- Zimmer, M.; Schreer, J.F.; Power, M.; 2010. Seasonal movement patterns of Credit River brown trout (*Salmo trutta*). *Ecol. Freshw. Fish* 19: 290-299. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2010.00413.x>