

Nota Técnica

Capacidad de salto de la trucha común para remontar barreras transversales en tres ríos del centro de la Península ibérica

**Study of the brown trout leaping capacity to overcome transverse barriers
in three rivers of the central zone of the Iberian Peninsula**

Manzano Rodríguez, A.^{1*}; García Díaz, R.¹; García de Jalón Lastra, D.²

¹*Dpto. de Ingeniería y Gestión Forestal y Ambiental. (E.T.S.I.M.F.).*

²*Dpto. Sistemas y Recursos Naturales. (E.T.S.I.M.F.).*

Autor para correspondencia: alejandro.manzanor@alumnos.upm.es

Resumen

Este estudio aborda el problema de las alturas de barrera infranqueables para las poblaciones de trucha común (*Salmo trutta*). La capacidad para superar dichas barreras viene determinada por la velocidad máxima de natación que pueden desarrollar los peces. Se han seleccionado los siguientes métodos para estimar el valor de la velocidad máxima de natación: Weaver (1963), Beach (1984), Videler (1993), protocolo HIDRI de la Agència Catalana de l'Aigua (2006) y Castro-Santos *et al.* (2013). Estos métodos tienen como parámetros de estimación: la temperatura, la especie y el tamaño del pez. Los métodos seleccionados han sido aplicados a las poblaciones de truchas comunes maduras sexualmente de los ríos Cega, Tormes y Lozoya, teniendo en cuenta la temperatura del mes de noviembre. Las alturas obtenidas en la estimación se han calculado para los ángulos de ataque de 60° y 80°. Posteriormente a la comparación de los resultados obtenidos con los distintos métodos de cálculo se concluye que la estimación propuesta por Castro-Santos *et al.* (2013) es la más apropiada para establecer las alturas franqueables en los tres ríos seleccionados.

Palabras clave: migración de peces, permeabilidad de ríos, escalas piscícolas, fragmentación de hábitat, velocidad de natación.

Abstract

This study addresses the problem of impassable barrier heights for brown trout populations (*Salmo trutta Linneaus*). The capacity to leap barriers is determined by the maximum speed of swimming that the fish can develop. The following methods have been selected to estimate the value of the maximum swimming speed: Weaver (1963), Beach (1984), Videler (1993) and HIDRI protocol of the Catalan Water Agency (2006), Castro-Santos *et al.* (2013). These methods use different estimation parameters: the temperature, the species and the size of the fish. The selected methods have been applied to mature brown trout populations from the Cega, Tormes and Lozoya rivers, it has been had in consideration of water temperature of november. The obtained heights have been calculated for the angles of attack of 60° and 80°. A comparison is made between the selected criteria, establishing the estimate proposed by Castro-Santos *et al.* (2013) as the most appropriate for its application in the three selected rivers.

Keywords: swimming speed, fish migration, artificial barriers, spawn, fishways.

1. Introducción

Los drenajes, pontones y puentes que se construyen en las vías de comunicación, para permitir el desagüe de los cursos de agua, constituyen una barrera transversal al paso de los peces. En estos drenajes, el parámetro más importante, aunque no el único, que condiciona la posibilidad de que las poblaciones piscícolas puedan remontarlo es la altura de desnivel entre la lámina que desciende del drenaje o basamento de la obra y la del río. La capacidad de nado y, por lo tanto, la de salto, depende de cada especie, del tamaño del pez y de la temperatura del agua. Para realizar el salto, el pez activa lo que se define como velocidad punta “*burst speed*”, velocidades máximas desarrolladas durante episodios puntuales de corta duración, con el empleo exclusivo de la musculatura blanca (anaerobia) que causa la fatiga del pez (Bell, 1986). Esta velocidad depende del tamaño del pez y de la temperatura.

Varios investigadores han estudiado las velocidades de nado de los peces: Bainbridge (1960) estableció que la velocidad punta no depende de la especie, sino que depende únicamente de la longitud del pez. Sin embargo, Ohlmer & Schwarzkopff (1959) mostraron importantes diferencias entre la capacidad de natación de distintas especies de peces. Wardle (1975) estableció que la distancia recorrida en cada ondulación puede fluctuar entre 0,6 y 0,8 la longitud del cuerpo del pez. Hammer (1995) y Videler (1993) consideran que la aproximación de la velocidad punta de 10 veces la longitud del pez por segundo es válida para ejemplares de longitud comprendida entre 10 y 20 cm. Castro-Santos *et al.* (2013) han investigado la velocidad punta en la trucha común (*Salmo trutta*) y el salvelino (*Salvelinus fontinalis*) con peces silvestres en un canal de experimentación, obteniendo valores muy altos de las velocidades punta (hasta 25 veces la longitud del pez).

En el presente trabajo se persiguen los siguientes objetivos:

- Seleccionar algunas de las metodologías utilizadas por diferentes autores y aplicarlas a las poblaciones de los tres ríos objeto del estudio, con el objetivo de realizar una comparativa entre diferentes criterios para establecer aquel criterio o metodología en el que se obtienen resultados más próximos a la capacidad de salto que realmente pueden desarrollar estas poblaciones de peces.
- Determinar para las poblaciones de truchas comunes de los ríos Cega, Tormes y Lozoya qué alturas de barrera son capaces de superar un determinado porcentaje de la población madura sexualmente que garantice la supervivencia de la población.

Dichos objetivos surgen ante la problemática de las barreras transversales de la Península ibérica. Estos obstáculos dificultan los movimientos reproductivos de las truchas y en caso de ser infranqueables suponen un gran riesgo para la supervivencia de la población.

Ante la variabilidad de criterios y estimaciones con los que definir la velocidad punta de las truchas, se busca clarificar este ámbito y definir el criterio que mejor se adapta a las características de los ríos y poblaciones estudiadas. Criterio a partir del cual se pretenden obtener unos valores representativos de la capacidad de salto de las poblaciones de truchas de la zona centro de la Península Ibérica.

A partir de estos resultados se podrá identificar aquellas barreras transversales que pueden suponer un riesgo para la supervivencia de la población y por tanto serían susceptibles de aplicar medidas correctoras (pasos, escalas de peces...) o incluso ser derribadas.

2. Material y métodos

Para cumplir los objetivos de este trabajo se han tenido en cuenta las investigaciones siguientes:

1. Gráficas de Beach (1984): las gráficas propuestas son solo para salmónidos, en ellas la velocidad punta viene determinada en función de la temperatura, del tamaño de los individuos y del tiempo de natación.
2. Protocolo HIDRI de la Agència Catalana de L'Aigua (2006), en el que únicamente se tiene en cuenta el tamaño de los peces y la especie (10 veces la longitud de su cuerpo por segundo), no tiene en consideración la temperatura.
3. Weaver (1963): considera que la velocidad máxima para salmónidos es de 15 veces su longitud corporal por segundo, no tiene en cuenta la variable de la temperatura.
4. Videler (1993): propone que para los peces de longitud inferior a 50 cm, como es este caso, la velocidad viene expresada por

$$V_{\max} = 0,4 + 7,4 L$$

En esta ecuación solo se tiene en cuenta la variable de la longitud del pez (L), sin considerar la temperatura ni la especie.

5. Castro-Santos *et al.* (2013): muestra la presencia de un segundo modo de sprint, en el que un alto porcentaje de truchas consiguen superar la velocidad de 19 veces su longitud corporal por segundo (LC/s), para una temperatura comprendida entre 10-12°C.

El estudio se ha realizado para las poblaciones de los tramos trucheros de los ríos Cega, Tormes y Lozoya. Para ello, se recopilieron datos de los muestreos de tru-

chas realizados por el equipo de Hidrobiología de la unidad docente de Zoología y Entomología de la ETSI Montes, Forestal y del Medio Natural de la U.P.M. Muestras que se llevaron a cabo durante los siguientes periodos: (Las estaciones de muestreo se exponen en la *Tabla 1*).

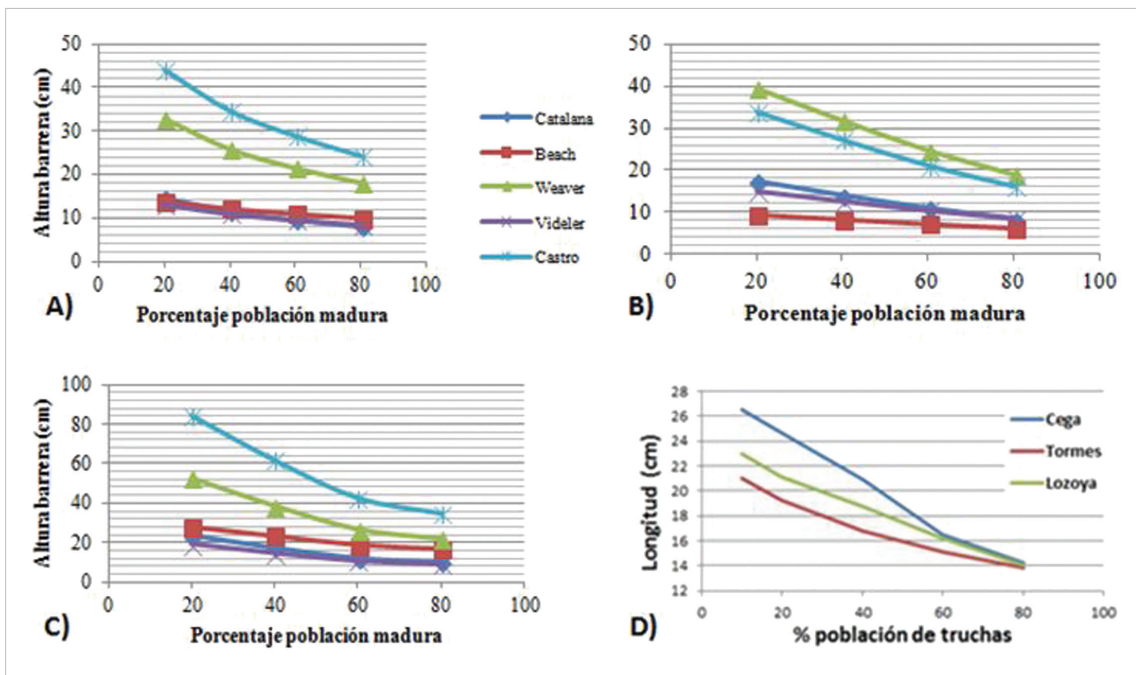
- Río Cega: En 1999 durante el mes de Noviembre.
- Río Tormes: En 1997, 98 y 99 en los meses de Marzo, Julio y Noviembre.
- Río Lozoya: En 1992 y 93 en los meses de Abril, Julio, Septiembre y Noviembre.

Tabla 1. Estaciones de muestreo de los ríos Lozoya, Tormes y Cega.

Río Lozoya			
Código Estación	Longitud	Latitud	Localización
ES_29_0015	40,888887	-3,885533	Virgen de la Peña
ES_29_0016	40,895246	-3,878494	Los Batanes
ES_29_0017	40,905298	-3,85963	Los Calizos
ES_29_0018	40,910746	-3,853764	Oteruelo
ES_29_0019	40,917242	-3,827722	Prados de la Majada
Río Tormes			
ES_32_0001	40,339377	-5,127414	El Vedado
ES_32_0002	40,345864	-5,213564	Las Canalejas
ES_32_0003	40,353352	-5,2456	Brazo del Río
ES_32_0004	40,343712	-5,322981	La Cepedilla
ES_32_0005	40,332586	-5,382631	El Portichuelo
ES_32_0006	40,32952	-5,400178	Riscal del Cohueso
Río Cega			
ES_30_0001	41,039784	-3,823306	Navafría
ES_30_0002	41,144725	-3,826107	La Velilla
ES_30_0003	41,276389	-4,092228	Lastras de Cuéllar

A partir de estos datos se puede obtener una buena aproximación de la distribución de tamaños en que oscilan los ejemplares de cada río analizado, siendo el tamaño una variable fundamental para los posteriores cálculos de velocidad de natación. La distribución en tamaños para las diferentes poblaciones se expone en la *Figura 2D*.

Este estudio se focaliza en el porcentaje de población madura existente en cada río. Para ello, aplicamos el criterio de Nicola & Almodóvar (2002) en las cuencas del Tajo y el Duero, que considera que las hembras maduran al alcanzar una longitud mayor de 133 mm, mientras los machos maduran con longitudes mayores de



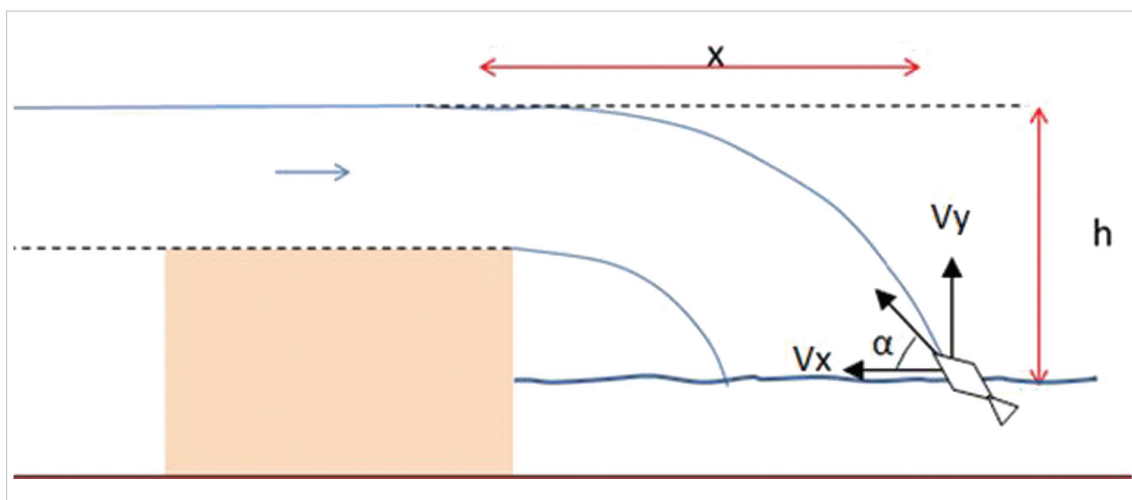
123 mm. Los inventarios no especifican diferencias entre machos y hembras por lo que consideraremos truchas maduras aquellas que presenten una longitud igual o superior a 133 mm. A partir de este dato se realizan los cálculos de velocidad y altura franqueable para distintos porcentajes: 20%, 40%, 60% y un 80% de la posible población madura de cada río. Además del tamaño, la temperatura del agua es la otra variable necesaria para la estimación de la velocidad de natación máxima. Se seleccionó la temperatura media del mes de noviembre, mes en el que las truchas inician su desplazamiento aguas arriba hacia las zonas de freza y momento en el que, la presencia de barreras transversales infranqueables, suponen un mayor peligro para la supervivencia de la población.

A partir de los datos de temperatura y longitud se realiza la estimación de la velocidad máxima según los 5 criterios anteriormente mencionados. Para adaptar la propuesta de Castro-Santos *et al.* (2013) a las distintas temperaturas se calcula un factor de corrección, basado en el aumento o pérdida de velocidad en función de la temperatura, la temperatura a la que se hicieron las estimaciones era de 10-12°C. Este factor únicamente se utiliza en el caso del río Lozoya ($T^a = 5,33^\circ\text{C}$), ya que en el Tormes ($T^a = 9,33^\circ\text{C}$) y en el Cega ($T^a = 13,63^\circ\text{C}$) la temperatura es muy próxima a la presente en la investigación de Castro-Santos *et al.* (2013).

Una vez calculada la velocidad máxima para las tres poblaciones de truchas, con las cinco metodologías, se puede estimar la altura (h) que pueden superar los distintos porcentajes de la población madura.

La velocidad que hace ascender al pez es la componente vertical de la velocidad inicial, el valor de las componentes vertical y horizontal depende del ángulo de ataque del pez respecto a la lámina de agua. El cálculo de la altura del salto de un pez se puede estudiar como la trayectoria de un proyectil, en el que partimos de dos

expresiones (Ec. 1) referidas a la componente horizontal (V_x) y a la componente vertical (V_y). (El gráfico con la descomposición de la velocidad se expone en la *Figura 1*).



$$V_x = (V_0 \cdot \cos \alpha) \cdot t \quad V_y = (V_0 \cdot \sin \alpha) \cdot t \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde V_0 es la velocidad máxima de natación y α es el ángulo de ataque, que varía entre 60° y 80° . Posteriormente se obtiene el valor de la altura (h) despejando la Ecuación 2, donde g es la aceleración de la gravedad:

$$V_y = g \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (\text{Ec. 2})$$

El pez alcanzará mayor altura, cuando el ángulo de ataque sea mayor. El mayor o menor valor del ángulo de ataque depende de dos factores: la profundidad de la poza anterior al obstáculo (un aumento en la profundidad permite al pez alcanzar ángulos de ataque más elevados). Según el protocolo HIDRI de la Agencia Catalana de L'Aigua (2006) la poza deberá tener una profundidad mínima de 1,25 veces la altura de la barrera y del flujo de agua, a medida que aumenta la velocidad de flujo, el pez requerirá un ángulo más reducido para poder contrarrestar la distancia horizontal del salto.

3. Resultados

En la Figura 2 se exponen las alturas máximas que alcanzan diferentes porcentajes de las poblaciones de los ríos Tormes (A), Lozoya (B) y Cega (C). Los criterios propuestos por la Agencia Catalana de L'Aigua (2006) y por Videler (1993) obtienen resultados muy reducidos y semejantes para los tres ríos estudiados, sin presentar variabilidad entre ellos. Las propuestas de Castro-Santos *et al.* (2013) y We-

aver (1963) son las que obtienen unos valores de alturas franqueables superiores. La diferencia de resultados entre ambas propuestas y el criterio de la Agència Catalana de L'Aigua (2006) se debe a las distintas estimaciones de la velocidad máxima para salmónidos siendo $19 \cdot LC/s$, $15 \cdot LC/s$ y $10 \cdot LC/s$ respectivamente (LC/s es longitud corporal por segundo).

Los cuatro métodos mencionados son ecuaciones lineales adaptadas a la capacidad de natación de los salmónidos y que únicamente tienen en consideración la variable de la longitud corporal. Estos criterios no parecen ser los más adecuados a la hora de establecer la infranqueabilidad de barreras, por el hecho de usar una única variable y no tener en cuenta otros factores que poseen cierta importancia a la hora de determinar la velocidad máxima. Sin embargo, sobre el criterio de Castro-Santos *et al.* (2013), en este estudio se incorporó un factor de corrección basado en la investigación de Beach (1984) para adaptar los valores de velocidad a los distintos valores de temperatura presentes en cada río analizado. De ahí que se observe que en el río Lozoya ($T^a = 5^{\circ}C$) las alturas son más pequeñas, mientras tanto en el criterio propuesto por Weaver (1963), las alturas para el río Lozoya y el río Cega son muy semejantes.

La temperatura del agua es el factor donde radica la gran diferencia de resultados de los tres criterios comentados respecto al de las gráficas de Beach (1984) y de Castro-Santos *et al.* (2013). Se observa de manera muy evidente como la gráfica cambia entre ríos y no sigue siempre una misma proporción debido a la incorporación de la variable temperatura. Comparando los valores obtenidos para la población de truchas del río Cega y los obtenidos para el río Lozoya, observamos la gran influencia de la temperatura en la velocidad máxima de los peces y por consiguiente en la altura que pueden superar. Estas diferencias reflejan la importancia de la temperatura, el Cega es un río con temperaturas relativamente altas, $13,63^{\circ}C$ en el mes de noviembre, permitiendo a los peces tener un mayor nivel de actividad para desarrollar velocidades más elevadas, mientras que para el río Lozoya la temperatura media es de $5,33^{\circ}C$, una temperatura muy baja que reduce en gran medida la capacidad de las truchas para desarrollar altas velocidades.

Entre los cinco criterios analizados los que mejor se adaptan a las distintas condiciones son: Beach (1984) y el de Castro-Santos *et al.* (2013). Sin embargo, las diferencias entre ambas propuestas son muy elevadas. En el caso de Beach (1984) los valores obtenidos son muy reducidos sobre todo para el río Lozoya, esto podría deberse al factor temperatura, como ya se ha comentado anteriormente, o a un segundo factor. Pues en el río Cega con una temperatura elevada las alturas continúan siendo bajas. El segundo factor es el carácter generalista de este criterio, ya que las estimaciones se centran en la totalidad de la familia de los salmónidos, obteniendo resultados reducidos para ejemplares de pequeño tamaño como es nuestro caso. En cambio, siguiendo la estimación de Castro-Santos *et al.* (2013) las alturas obtenidas son superiores. Este criterio se podría aproximar y adaptar mejor a las condiciones de las poblaciones de trucha de los ríos estudiados, debido al pequeño tamaño de los ejemplares y la temperatura de los ríos.

El éxito reproductivo no depende demasiado de la cantidad de truchas madu-

ras, ya que con un pequeño porcentaje de truchas que se reproduzcan sería más que suficiente para el mantenimiento de la población. Es más dependiente de factores externos como son eventos extremos ocurridos durante el año o el régimen de caudales (Alonso *et al.*, 2011). Considerando un 10% de la población madura como suficiente para garantizar la supervivencia de la población, las alturas franqueables según el criterio de Castro-Santos *et al.* son: en el Lozoya 43,8 cm (60°) y 56,6 cm (80°); en el Tormes entre 52,6 (60°) y 68 cm (80°); y en el Cega entre 92,6 y 119,7 cm. Respecto a los valores obtenidos para un ángulo de ataque de 80°, hay que mencionar que las truchas para alcanzar este ángulo máximo requieren de unas condiciones muy concretas. En primer lugar, la velocidad del flujo de agua del vertido tendría que ser muy reducida, para este ángulo la componente horizontal de la velocidad desarrollada por el pez es pequeña y ante una velocidad de flujo superior el pez tendrá que saltar con un ángulo menor para superar el obstáculo. En segundo lugar, para poder desarrollar ángulos elevados se requiere que la poza anterior al obstáculo tenga una profundidad determinada (1,25 veces la altura del obstáculo). Por ejemplo, en el río Cega para que las truchas alcancen los 119,7 cm, la poza debería tener una profundidad de 149,6 cm, dimensiones que no se dan con facilidad en los ríos trucheros de la Península Ibérica. Por tanto, a la hora de interpretar los resultados hay que tener en cuenta estos factores, siendo probable que el ángulo de ataque más frecuente sea el de 60°.

4. Conclusiones

El criterio de Beach (1984) es muy limitante con bajas temperaturas y con ejemplares pequeños, siendo un criterio adecuado en casos de temperaturas óptimas y poblaciones con individuos de gran tamaño. Para los tres ríos estudiados, los resultados no serían aplicables. La estimación realizada por Castro-Santos *et al.* (2013) es específica de dos especies de salmónidos, adaptándose mejor a los pequeños tamaños que presentan los ejemplares de trucha común en los tres ríos estudiados.

Por tanto, la estimación de Castro-Santos *et al.* (2013) se considera el criterio más adecuado con el que definir alturas franqueables para las poblaciones de truchas maduras de los tres ríos analizados.

Los resultados obtenidos en el presente estudio son teóricos y suponen una aproximación respecto a las alturas que podrán superar las poblaciones de truchas analizadas. Consecuentemente, antes de aplicar estos datos a situaciones reales, se deben llevar a cabo observaciones y comprobaciones en campo apoyándose en estos resultados como punto de partida.

5. Bibliografía

Agència Catalana de L'Aigua, 2006. *Protocolo HIDRI Protocolo para la valoración de la calidad Hidromorfológica de los Ríos*. Agència Catalana de l'Aigua, Barcelona, 131 pp.

- Alonso, C.; García de Jalón, D.; Álvarez, J.; Gortázar, J.; 2011. A large-scale approach can help detect general processes driving the dynamics of brown trout populations in extensive areas. *Ecology of Freshwater Fish*, 20 (3): 449-460. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0633.2011.00484.x>
- Bainbridge, R. 1960. Speed and stamina in three fish. *Journal of Experimental Biology*, 37 (1):129-153.
- Bell, M.C. 1986. *Fisheries Handbook of Engineering Requirements and Biological Criteria*. U.S. Army Corps of Engineers, Fish Passage Development and Evaluation Program, Portland, OR.
- Beach, M.H. 1984. *Fish pass design-criteria for the design and approval of fish passes and other structures to facilitate the passage of migratory fish in rivers*. Fisheries research technical report, 78, Lowestoft.
- Castro-Santos, T.; Sanz-Ronda, F.J.; Ruiz-Legazpi, J. 2012. Breaking the speed limit—comparative sprinting performance of brook trout (*Salvelinus fontinalis*) and brown trout (*Salmo trutta*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 70 (2): 280-293. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2012-0186>
- Hammer, C. 1995. Fatigue and exercise tests with fish. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Physiology*, 112(1): 1-20. [https://doi.org/10.1016/0300-9629\(95\)00060-K](https://doi.org/10.1016/0300-9629(95)00060-K)
- MAPAMA. 2017. *Protocolo de caracterización Hidromorfológica de masas de agua en la categoría de ríos*. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid. Disponible en: www.mapama.gob.es Fecha de consulta: 23/12/2017.
- Nicola, G.G.; Almodóvar, A. 2002. Reproductive traits of stream-dwelling brown trout *Salmo trutta* in contrasting neighbouring rivers of central Spain. *Freshwater Biology*, 47 (8): 1353-1365. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.2002.00866.x>
- Ohlmer, W.; Schwartzkopff, J. 1959. Schwimmgeschwindigkeiten von Fischen aus stehenden Binnengewässern. *Naturwissenschaften*, 46(10): 362-363. <https://doi.org/10.1007/BF00625543>
- Videler, J.J. 1993. *Fish Swimming*. Chapman & Hall. Fish and fisheries series 10: 260.
- Wardle, C.S. 1975. Limit of fish swimming speed. *Nature*, 255 (5511): 725. <https://doi.org/10.1038/255725a0>
- Weaver, C.R. 1963. Influence of water velocity upon orientation and performance of adult migrating salmonids. *Fish. Bull*, 63(1): 97-121.