



Universidad de Valladolid
Campus de Palencia

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍAS AGRARIAS**

**Máster en Investigación en Conservación y
Uso Sostenible de Sistemas Forestales**

Migración de la trucha común (*Salmo trutta*)
en un tramo de río regulado

Alumno: Ana García Vega
Tutor: Fco. Javier Sanz Ronda

Junio de 2015

ÍNDICE

RESUMEN	2
ABSTRACT	2
1. ANTECEDENTES	3
2. OBJETIVOS	4
3. MATERIALES Y MÉTODOS	5
3.1. Zona de estudio	5
3.2. Procedimiento de muestreo.....	6
3.3. Datos ambientales.....	7
3.4. Tratamiento de los datos	7
3.5. Análisis estadísticos	8
4. RESULTADOS	9
4.1. Características de los registros	9
4.2. Épocas de ascenso y factores desencadenantes.....	10
4.3. Momentos de ascenso	12
5. DISCUSIÓN	14
5.1. Migración y contadores de peces	14
5.2. Épocas de ascenso y factores desencadenantes.....	14
5.3. Momentos de ascenso	16
5.4. Migración y desove	17
6. CONCLUSIONES.....	18
7. AGRADECIMIENTOS	18
8. BIBLIOGRAFÍA	19

RESUMEN

Los peces son uno de los grupos de vertebrados menos estudiados y con problemas de conservación más urgentes de la Península Ibérica. Dentro de las especies piscícolas ibéricas, la trucha común (*Salmo trutta*) es una de las de mayor importancia ecológica y socioeconómica. Esta especie presenta una amplia distribución natural y, a pesar de que existe gran cantidad de bibliografía sobre su biología y ecología, muy pocos estudios se han centrado en las poblaciones naturales situadas en la zona sur de su distribución natural. Por ello, el presente trabajo trata de conocer los patrones de movimiento (estacionales y diarios) de la trucha común, los factores ambientales que los desencadenan y evaluar la relación de dichos movimientos con respecto al desove. Los datos empleados en el análisis provienen de un contador de peces instalado en una escala para peces ubicada en un tramo de río regulado para irrigación (río Porma, León, España). Los resultados del estudio muestran dos periodos importantes de migración, uno asociado a la reproducción (octubre-diciembre) y otro estival (julio-agosto), ambos desencadenados por cambios en el caudal, la temperatura del agua y la radiación solar. Los movimientos diarios son prácticamente diurnos en primavera, verano y otoño; en invierno son diurnos y crepusculares, y durante la migración reproductiva suceden a lo largo de todo el día. El conocimiento de los patrones de migración es clave para la conservación de especies y para la gestión del medio fluvial.

ABSTRACT

Fish fauna is one of the less studied vertebrate groups and with most important conservation problems in the Iberian Peninsula. Within Iberian fish species, brown trout (*Salmo trutta*) is the most ecologically and economically relevant. This species has a wide natural distribution range and, despite there is a lot of specialized literature about its biology and ecology, very few studies have been focused on natural populations located in the southern of its natural distribution range. Therefore, the present work studies the movement patterns (seasonal and daily) of brown trout, the environmental triggers and evaluates the relationship of these movements respect to spawning. The data used in the analysis come from a fish counter installed in a fishway located in a regulated river for irrigation (Porma River, León, Spain). The study results show two important migration periods, one associated with reproduction (October-December) and another one in summer (July-August), both triggered by changes in flow rate, water temperature and solar radiation. Daily movements are mostly diurnals in spring, summer and fall; in winter they are diurnals and crepuscular, and during the spawning migration they happen throughout the day. The knowledge about migration patterns is one of the key factors for achieving the conservation of species and an optimal river management.

1. ANTECEDENTES

Las especies y hábitats de agua dulce se encuentran entre los más amenazados del mundo (Saunders et al., 2002), siendo los peces uno de los grupos de vertebrados menos estudiados y con problemas de conservación más urgentes de la Península Ibérica (Clavero et al., 2004). Este problema es mucho más evidente en los ríos regulados, pues las presas y otros obstáculos transversales dificultan o limitan la dispersión y migración de los organismos acuáticos, hecho directamente relacionado con la pérdida de poblaciones y especies enteras de peces de agua dulce (Nilsson et al., 2005).

Muchas de las especies de peces migradoras parecen ajustar sus ciclos de vida y su distribución de acuerdo a las características de su entorno (Araújo et al., 2013), pudiendo ser éstas muy dinámicas en los sistemas de agua dulce (Lucas y Baras, 2001). Esto provoca que los peces tengan que realizar desplazamientos entre unas áreas y otras. Los estímulos que desencadenan los movimientos de los peces migradores responden tanto a factores internos (genética, reproducción, alimentación) como externos (predación, ambiente) (Lucas y Baras, 2001). En general, se considera que las variables ambientales más influyentes en los desplazamientos piscícolas son (Lucas y Baras, 2001): la iluminación (alternancia día-noche, duración del día, radiación solar, ciclos lunares, turbidez del agua), temperatura del agua, hidrología (caudal circulante y profundidad), meteorología (temperatura ambiente, precipitaciones, presión atmosférica, etc.) y la calidad del agua (oxígeno disuelto, contaminación, etc.), así como las posibles interacciones entre ellas. La importancia de cada parámetro es diferente para cada especie y suele ser una combinación de varios la que estimula el movimiento. En ocasiones, cuando un factor importante no sucede, e.g. un incremento de caudal, son otros los que inducen el movimiento, e.g. un incremento de la temperatura del agua, evitando retrasos importantes (Adam et al., 2006).

Los salmónidos son la familia de peces que más se identifica con el comportamiento migratorio (Lucas y Baras, 2001; Dodson et al., 2013; Brönmark et al., 2014), siendo una de las especies más destacadas en la Península Ibérica la trucha común (*Salmo trutta*) tanto por su valor ecológico, como deportivo y económico (López-Álvarez, 1984; Oscoz et al., 2000). La regulación de los ríos uno de los mayores impactos sobre las poblaciones autóctonas (García de Jalón et al., 1992; Baeza et al., 2003; Cabral et al., 2005), estando la trucha común catalogada como “en peligro crítico” en Portugal (Cabral et al., 2005) y como “vulnerable” en España (Doadrio, 2002). Se trata de una especie con amplia distribución natural, extendiéndose por toda Europa, norte de África y Asia occidental (Klemetsen et al., 2003). Muchos autores han investigado y recopilado información sobre los patrones de actividad de la trucha común y la influencia de las condiciones ambientales en la migración ascendente (Banks, 1969; Clapp et al., 1990; Meyers et al., 1990; Ovidio, 1999; Lucas y

Baras, 2001; Ovidio et al., 2002). Sin embargo, muy pocos estudios se han centrado en las poblaciones situadas al sur de su distribución natural (Nicola y Almodóvar, 2002; Gortázar et al., 2007). Además, la mayoría de los trabajos relacionados con el seguimiento de los movimientos de la trucha común se centran únicamente en el periodo reproductivo (Saraniemi, et al., 2008).

En la Península Ibérica existen dos poblaciones de trucha, una anadroma que se distribuye por los ríos de Galicia y la Cordillera Cantábrica y otra potamodroma que vive en los demás ríos españoles. Estas poblaciones presentan un único periodo de freza que se sitúa, en general, entre los meses de noviembre y enero (Doadrio, 2002). Las migraciones estacionales de esta especie responden a diversos motivos, como la búsqueda de frezaderos adecuados o bien de temperaturas del agua más convenientes (García de Jalón, 1992; Ovidio, 1999).

El conocimiento de los patrones de movimiento de los peces es imprescindible para la gestión de los medios acuáticos y la conservación de especies (Schrank y Rahel, 2004; Brönmark et al., 2014).

2. OBJETIVOS

Teniendo en cuenta lo expuesto, el presente estudio persigue los siguientes objetivos:

- (1) conocer las épocas donde se concentran los mayores movimientos ascensionales de la trucha común;
- (2) determinar los factores ambientales más significativos que influyen en dichos movimientos;
- (3) detectar los momentos del día con mayor actividad migratoria;
- (4) evaluar la relación que tienen con respecto al desove.

Así se van a describir los patrones de movimiento de la trucha común en un tramo de río regulado a lo largo de todo el año. El conocimiento del comportamiento migratorio de los peces permitirá, entre otros, una mejor gestión de la pesca, la optimización del diseño y funcionamiento de las escalas para peces y la programación temporal de actividades de restauración fluvial.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Zona de estudio

El río Porma se ubica en el noroeste de la Península Ibérica, recorriendo de norte a sur la parte septentrional de la provincia de León (figura 1). El estudio se centra en el tramo medio de este río, en la zona de metarhitron, con un altitud media en torno a los 860 m.s.n.m, perteneciendo a la categoría C4 (Rosgen y Silvey, 1996) que se corresponde con una corriente con sustrato de grava, moderada sinuosidad y pendiente 0.001-0.020 m/m.

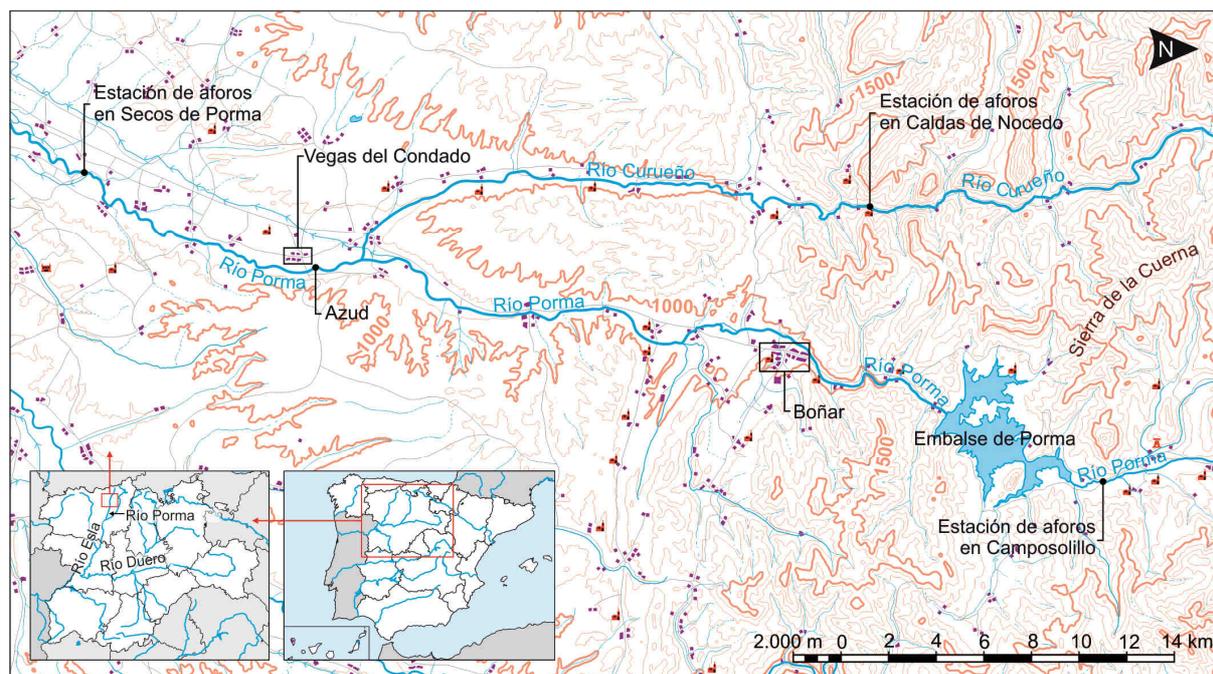


Figura 1. Localización del área de estudio.

El tramo de estudio se ubica aguas abajo del embalse del Porma (figura 1). La existencia de este embalse proporciona un régimen térmico y de caudales diferente al de un río no regulado (figura 2), especialmente cuando se dan variaciones bruscas y frecuentes de sueltas de aguas (García de Jalón et al., 1992), modificando su estacionalidad y variabilidad tanto anual como interanual, pudiendo llegar a alterar la época de freza y la migración de los peces (Baeza et al., 2003).

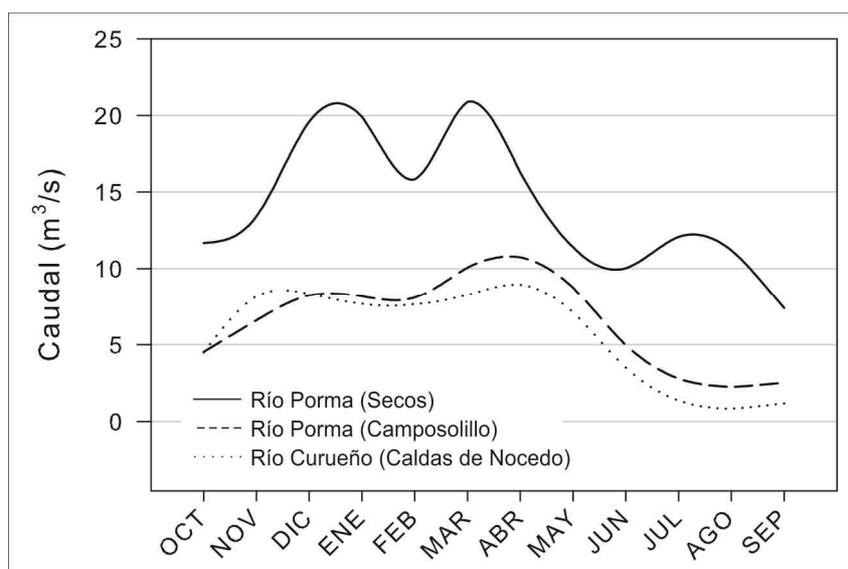


Figura 2. Régimen de caudales (caudales medios mensuales) del río Porma en Camposolillo (antes del embalse del Porma, tramo no regulado) y en Secos del Porma (después del embalse, tramo regulado) y del río Curueño en Caldas de Nocedo (afluente del río Porma, no regulado). En la figura 1 se muestra la localización de cada una de las estaciones de aforo.

En dicho tramo, existe una piscifactoría de trucha común (exclusiva para repoblación y conservación genética) propiedad de la Junta de Castilla y León, ubicada en el término municipal de Vegas del Condado (42°41' N, 5°21' W) en la provincia de León. El azud de derivación de esta instalación (figura 1) presenta una escala para peces de hendiduras verticales compuesta por 9 vertederos de 0.2 m de anchura. Los estanques tienen una anchura y longitud medias de 1.6 m y 2.4 m respectivamente, con un desnivel medio entre estanques de 0.2 m.

La especie principal migradora en este tramo es la trucha común (*Salmo trutta*). También se encuentran presentes, aunque de forma esporádica, el barbo (*Luciobarbus bocagei*), la boga (*Pseudochondrostoma duriense*) y el bordallo (*Squalius carolitertii*), todas ellas especies autóctonas.

3.2. Procedimiento de muestreo

Para determinar los patrones de movimiento de la trucha común hacia aguas arriba de la escala se utilizaron los datos procedentes de un contador de peces (modelo VAKI Riverwatcher Fish Counter) que se halla instalado en el vertedero situado aguas abajo de la compuerta de la escala de peces del azud de la piscifactoría. Dicho contador está compuesto por una unidad de control y una unidad de escáner. La unidad de escáner consiste en un marco, en el que en uno de sus laterales se encuentra un emisor de radiación infrarroja y en el otro un receptor. Cuando un pez nada a través de dicho marco, interrumpe los haces de luz, quedando registrada su silueta (figura 3). Además, el contador

proporciona la altura del pez o cruz mayor (altura mínima de registro 40 mm), que mediante relaciones biométricas permite determinar otras medidas características, el día y la hora de paso por el escáner, la dirección de movimiento (ascenso/descenso), la velocidad de paso del pez por el escáner y la temperatura del agua. Estos datos registrados por la unidad de escáner son enviados a la unidad de control, donde se almacenan. El periodo de datos continuos disponibles para el estudio fue desde octubre de 2011 hasta enero de 2013 (16 meses).

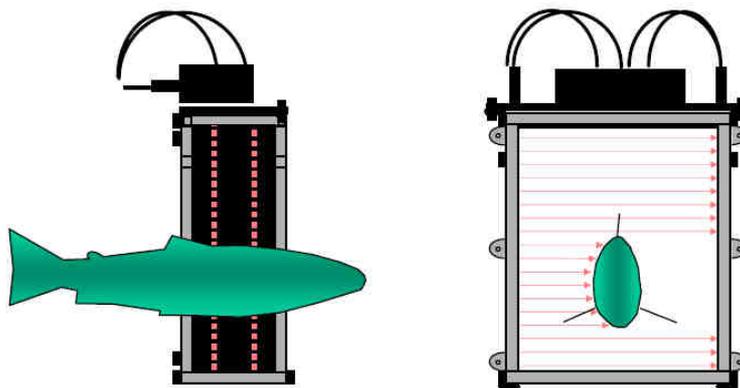


Figura 3. Esquema de funcionamiento del escáner del contador de peces (VAKI, 2015).

Para convertir los datos de las alturas de los peces registrados por el contador en longitudes, se efectuó un muestreo mediante pesca eléctrica (modelo Erreka; 2200 W, 5 A) en noviembre de 2010 ($n = 48$) y se estableció la siguiente relación biométrica (Ec. 1) ($R^2 = 0.9243$ y rango de longitudes = 145-320 mm):

$$\text{Longitud (mm)} = 4.9614 \cdot \text{Cruz mayor (mm)} + 4.4805 \quad [1]$$

3.3. Datos ambientales

Se recopilaron datos de caudal circulante por el río Porma (estación de aforos SAIH 2112 Secos del Porma, datos cada 10 minutos), temperatura ambiente, precipitación y radiación solar (estación meteorológica SIAR LE02 Mansilla Mayor, datos cada 30 minutos), presión atmosférica (estación meteorológica 2661 Virgen del Camino, datos cada 6 horas), temperatura del agua del río (piscifactoría Vegas del Condado, datos tomados 3 veces al día), tiempo atmosférico (piscifactoría Vegas del Condado, datos diarios) y la fase lunar durante todo el periodo de estudio.

3.4. Tratamiento de los datos

Los registros del contador fueron procesados utilizando el software Winari (versión 4.33), de tal forma que se revisó visualmente uno a uno cada registro con objeto de minimizar errores de conteo [falsos conteos (burbujas, otras especies, etc.), un único registro con varios peces

pasando de forma simultánea, varios conteos del mismo pez, etc.]. Utilizando la relación biométrica para el cálculo de la longitud de las truchas (Ec. 1), para cada registro del contador se determinó la longitud. Finalmente, los registros de paso se agregaron por días (para obtener registros diarios) y a cada uno de ellos se le asoció su valor correspondiente de cada una de las variables ambientales a considerar en el análisis.

3.5. Análisis estadísticos

Tras el procesado de los datos recogidos por el contador de peces, se efectuó un análisis de frecuencias del número de ascensos en cada quincena y también por mes. Para ello se agruparon los registros diarios correspondientes a quincena y cada mes de estudio. Los registros de invierno incluyeron los meses de diciembre de 2011, enero y febrero de 2012, diciembre de 2012 y enero de 2013 (no existen datos posteriores). Los registros de primavera incluyeron los meses de marzo, abril y mayo de 2012. Los registros de verano fueron los de los meses de junio, julio y agosto de 2012. Los registros de otoño fueron los correspondientes a octubre y noviembre de 2011 y los de septiembre, octubre y noviembre de 2012. Puesto que los datos contemplan dos periodos de migración reproductiva (octubre-diciembre), mediante la prueba W de Mann-Whitney (de Wilcoxon) se determinó si la migración en un año fue diferente al del otro.

Para poder comprobar si existe selectividad por tamaño de los peces a lo largo del año, los registros se agruparon por longitudes en 3 clases [pequeños (200 – 270 mm), medianos (270 – 350 mm) y grandes (>350 mm), clases que se corresponden aproximadamente con los rangos de edades de 3+ a 5+, de 6+ a 8+ y mayores de 8+, respectivamente (Gallego, 2009)] y se realizó la prueba de Kruskal-Wallis para comparar las distribuciones de cada grupo a lo largo del tiempo.

El efecto de las variables ambientales se analizó mediante un modelo lineal generalizado (GLM) pues los datos eran desbalanceados y con una variable dependiente procedente de datos de conteo. Este método ha sido utilizado por otros autores en estudios similares con ciprínidos (Prchalová et al., 2006; Slavík, et al., 2009). Generalmente, los datos de conteos se ajustan a una distribución de Poisson. Sin embargo, debido a la gran cantidad de días sin pasos de peces en el contador los datos se ajustaban a una distribución binomial negativa. El GLM amplía el modelo lineal general, de manera que la variable dependiente (Y) está relacionada linealmente con los factores y las covariables (X) mediante una determinada función de enlace, que para datos de recuento utiliza el logaritmo (Ec. 2 y 3).

$$E(Y) = \mu = g^{-1}(\beta X) \quad [2]$$

donde E(Y) es el valor esperado de la variable dependiente, βX es el predictor lineal (una

combinación lineal de parámetros desconocidos β) y g es la función de enlace, que particularizada para nuestro caso:

$$\log(Y) = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \dots + \beta_k X_k \quad [3]$$

Como método de selección de variables se ha seguido el criterio *backward*. Se empezó con un modelo que incluía todas las variables y se fue eliminando una a una aquéllas que no eran estadísticamente significativas. Para saber si las variables son significativas, el modelo utiliza la prueba de la χ^2 .

La bondad del ajuste del GLM se evalúa a través de la devianza (D^2), que es la cantidad de varianza explicada por el modelo (Ec. 4).

$$D^2 = \frac{\text{Devianza modelo nulo} - \text{Devianza residual}}{\text{Devianza modelo nulo}} \quad [4]$$

Por último, se realizó un análisis horario de frecuencias de paso (considerando hora solar) por estación y tipo de migración. Para poder clasificar si los registros se produjeron en una parte determinada del día se clasificaron los registros de cada pez en las categorías amanecer (orto ± 1 hora), día, atardecer (ocaso ± 1 hora) y noche. Además, se calcularon las correlaciones de Spearman para determinar si existe relación entre el número de registros y la temperatura del agua a lo largo del día.

Todos los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa SPSS Statistics (versión 17.0).

4. RESULTADOS

4.1. Características de los registros

El sistema Riverwatcher instalado no dispone de cámara y en raras ocasiones puede observarse una silueta precisa del pez, por lo que es complicado diferenciar visualmente entre especies, aunque para el caso de la trucha la existencia de aleta adiposa ayuda en la identificación (figura 4). No obstante, la trucha común es el único migrador de entidad que alcanza los 20 cm en este tramo de río, apareciendo sólo de forma esporádica especies migradoras de mayor tamaño [el barbo y la boga son propios de zonas más bajas y con corrientes más lentas que el tramo de estudio y el bordallo raramente alcanza los 25 cm (Doadrio, 2002)], por lo que se considerará que prácticamente todos los registros son de esta especie.

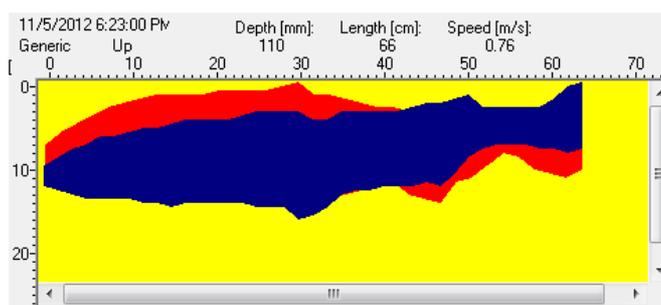


Figura 4. Siluetas de una trucha que ha pasado por el escáner del contador utilizado en el presente estudio. Se observa la presencia de la aleta adiposa en la silueta.

El número total de registros de ascenso de trucha común fue de 670. El pez más pequeño registrado por el contador posee una altura (cruz mayor) de 40 mm (valor mínimo de detección del contador), que en base a la relación biométrica calculada (Ec. 1) se traduce en una longitud de 203 mm. En cuanto a la clasificación por longitudes, se registraron 385 peces pequeños (200 – 270 mm), 115 medianos (270 – 350 mm) y 170 grandes (>350 mm).

4.2. Épocas de ascenso y factores desencadenantes

En la figura 5 se pueden observar los registros del contador agrupados por quincenas. Se pueden distinguir dos épocas de ascenso, una durante los meses de otoño e invierno (migración reproductiva) y otra en los meses de verano (migración estival), siendo la migración primaveral muy pequeña en comparación con los otros tipos de migraciones (2% del total de los registros).

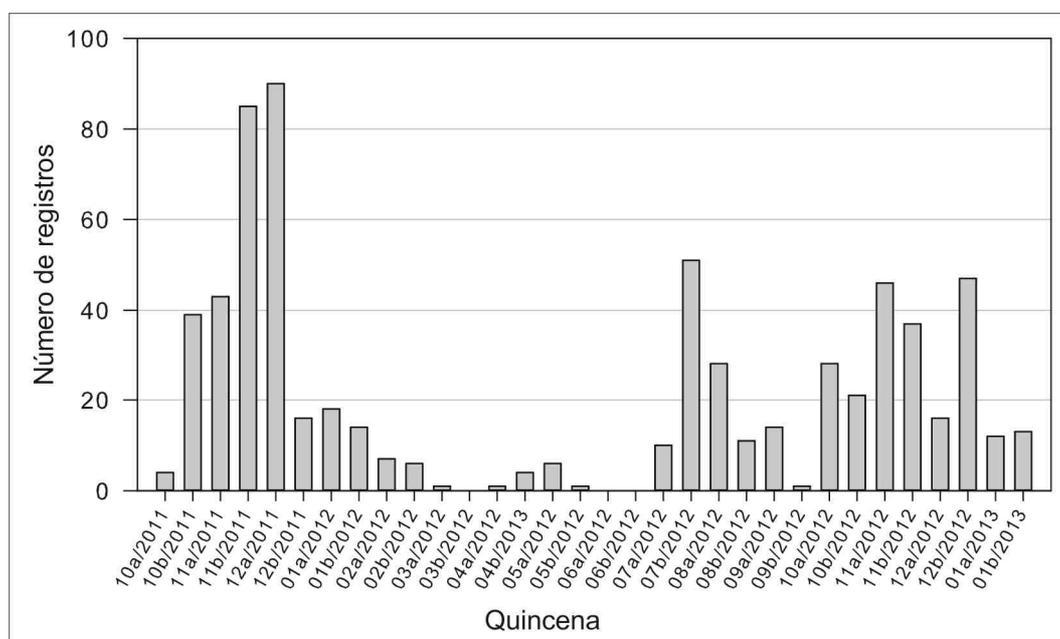


Figura 5. Número de registros quincenales detectados por el contador de peces (a primera y b segunda quincena del mes).

El periodo de migración reproductiva se centra en los meses de octubre a diciembre, disminuyendo el número de migrantes a partir del mes de enero y no resultando estadísticamente diferente la migración de un año frente a la del otro (estadístico del test de Mann-Whitney: $W = -223$; $p\text{-valor} = 0.514$). El mes con mayores movimientos ascensionales es noviembre para los dos periodos de migración reproductiva registrados, teniendo su máximo en la primera quincena de diciembre para el año 2011 y en la segunda para el año 2012. No se han detectado diferencias entre los tamaños de los peces y la época de ascenso (estadístico de la prueba de Kruskal-Wallis: $K = 0.292$; $p\text{-valor} = 0.864$).

Los resultados del GLM muestran que la temperatura del agua, el caudal, la radiación solar y la presión atmosférica son las únicas variables de las estudiadas que influyen significativamente en el número de migrantes. El modelo ajustado únicamente con las variables significativas ($N = 486$; $D^2 = 0.228$) nos aporta información sobre cómo influyen las variables en el número de migrantes.

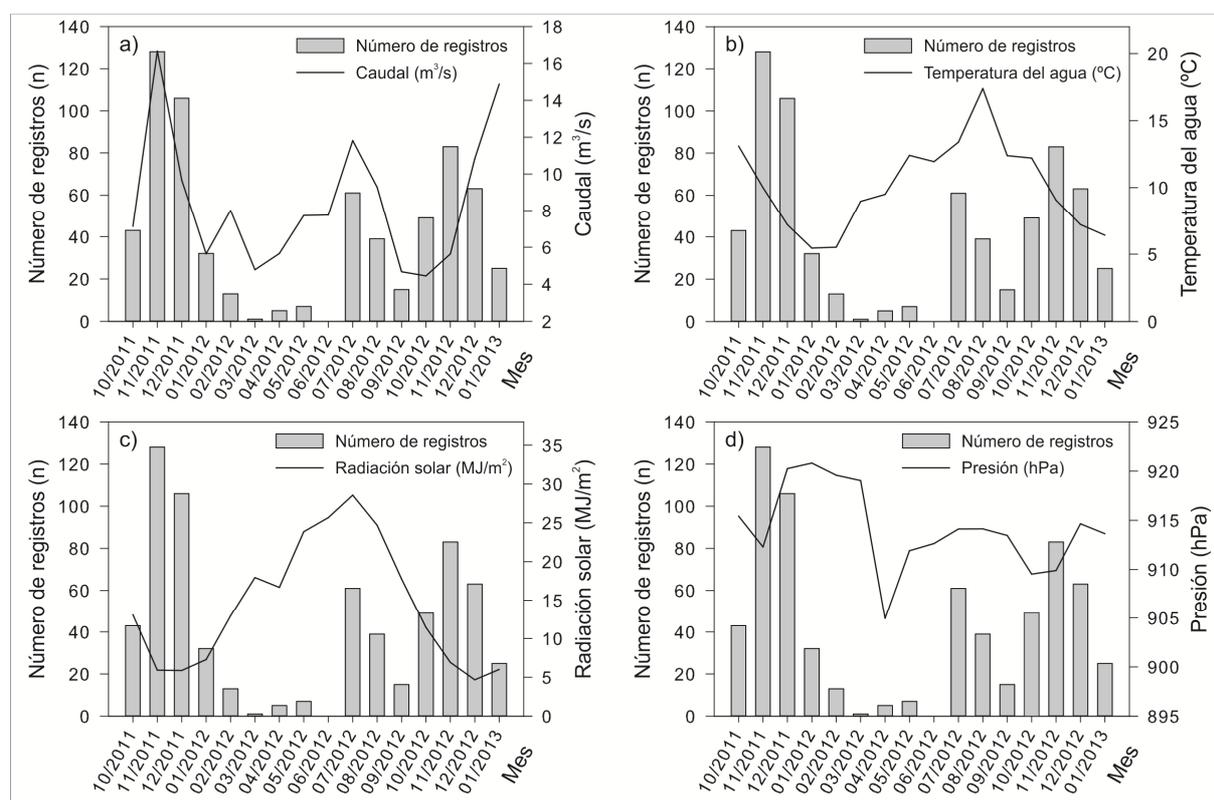


Figura 6. Representación de los registros mensuales para el periodo de estudio frente a: a) caudal medio mensual; b) temperatura del agua media mensual; c) radiación solar media mensual; d) presión atmosférica media mensual.

En relación al caudal ($\chi^2 = 29.813$; $N = 486$; $p\text{-valor} < 0.001$), existe una relación positiva [$\beta = 0.057$; $se = 0.011$; $\exp(\beta) = 1.059$], i.e. el número de migrantes aumenta cuando aumenta el caudal. En la figura 6a se puede observar que tanto la migración reproductiva como la

estival coinciden con las subidas en el caudal medio del río, siendo los meses con mayor número de migrantes los de mayor caudal medio mensual registrado.

En cuanto a la temperatura del agua ($\chi^2 = 74.491$; $N = 486$; $p\text{-valor} < 0.001$), existe una relación positiva [$\beta = 0.254$; $se = 0.029$; $\exp(\beta) = 1.289$], i.e. al aumentar la temperatura del agua aumenta el número de migrantes. Este hecho se produce de forma clara en la migración estival (figura 6b), produciéndose los movimientos en este periodo en un rango entre los 12°C y los 19°C. Sin embargo, si observamos los valores de la temperatura en los meses de migración reproductiva (octubre-diciembre) (figura 6b), se puede ver que este periodo se caracteriza por un descenso de la temperatura del agua, produciéndose los movimientos entre los 5°C y los 15°C. Por debajo de los 4.7°C no se ha detectado ningún movimiento.

En relación a la radiación solar, ($\chi^2 = 116.094$; $N = 486$; $p\text{-valor} < 0.001$), existe una relación negativa [$\beta = -0.119$; $se = 0.011$; $\exp(\beta) = 0.888$], i.e. el número de migrantes aumenta cuando disminuye la radiación solar. Este hecho, sólo se cumple para la migración reproductiva, que coincide con los valores más bajos de la radiación solar (figura 6c). Sin embargo, la migración estival coincide con el periodo de máxima radiación solar (figura 6c).

En cuanto a la presión atmosférica ($\chi^2 = 18.558$; $N = 486$; $p\text{-valor} < 0.001$), existe una relación positiva [$\beta = 0.048$; $se = 0.011$; $\exp(\beta) = 1.049$], i.e. el número de migrantes aumenta cuando aumenta la presión atmosférica, sin embargo no se detecta un patrón claro (figura 6d). Banks (1969) llegó a la conclusión de que la presión atmosférica puede influir en la migración de peces, pero que su efecto es mínimo y sin duda difícil de distinguir de los cambios más tangibles como el caudal o la temperatura del agua (Jensen et al., 1986).

4.3. Momentos de ascenso

En otoño los movimientos ascensionales se reparten a lo largo de todo el día, siendo más frecuentes los diurnos (59%) y alcanzando las máximas frecuencias horarias por la tarde (figura 7a). En invierno, los movimientos también se reparten a lo largo de todo el día (figura 7b), de los cuales un 42% son diurnos y un 38% crepusculares, siendo la hora con mayor frecuencia de paso entre las 8 y las 9 de la mañana. En primavera (figura 7c), la migración es prácticamente diurna (77%), con un máximo de migrantes justo al medio día. La migración estival es prácticamente diurna (78%), produciéndose la mayor frecuencia de paso (17%) a las 8 de la tarde (figura 7d) y concentrándose la mayor cantidad de movimiento de 9 a 12 de la mañana (42%). Durante la migración reproductora (octubre, noviembre y diciembre), la actividad ocurre prácticamente a lo largo de todo el día siendo la mayor frecuencia de paso (15%) se produce de 8 a 9 de la mañana (figura 7e),

concentrándose la mayor cantidad de movimiento de 2 a 6 de la tarde (39%).

Para ninguna de las estaciones, se ha encontrado una relación estadísticamente significativa entre el número de migrantes horario y la temperatura del agua (coeficientes de correlación de Spearman de otoño: $\rho = -0.086$, $p\text{-valor} = 0.345$; invierno: $\rho = -0.194$, $p\text{-valor} = 0.182$; primavera: $\rho = -0.266$, $p\text{-valor} = 0.104$; verano: $\rho = -0.239$, $p\text{-valor} = 0.130$).

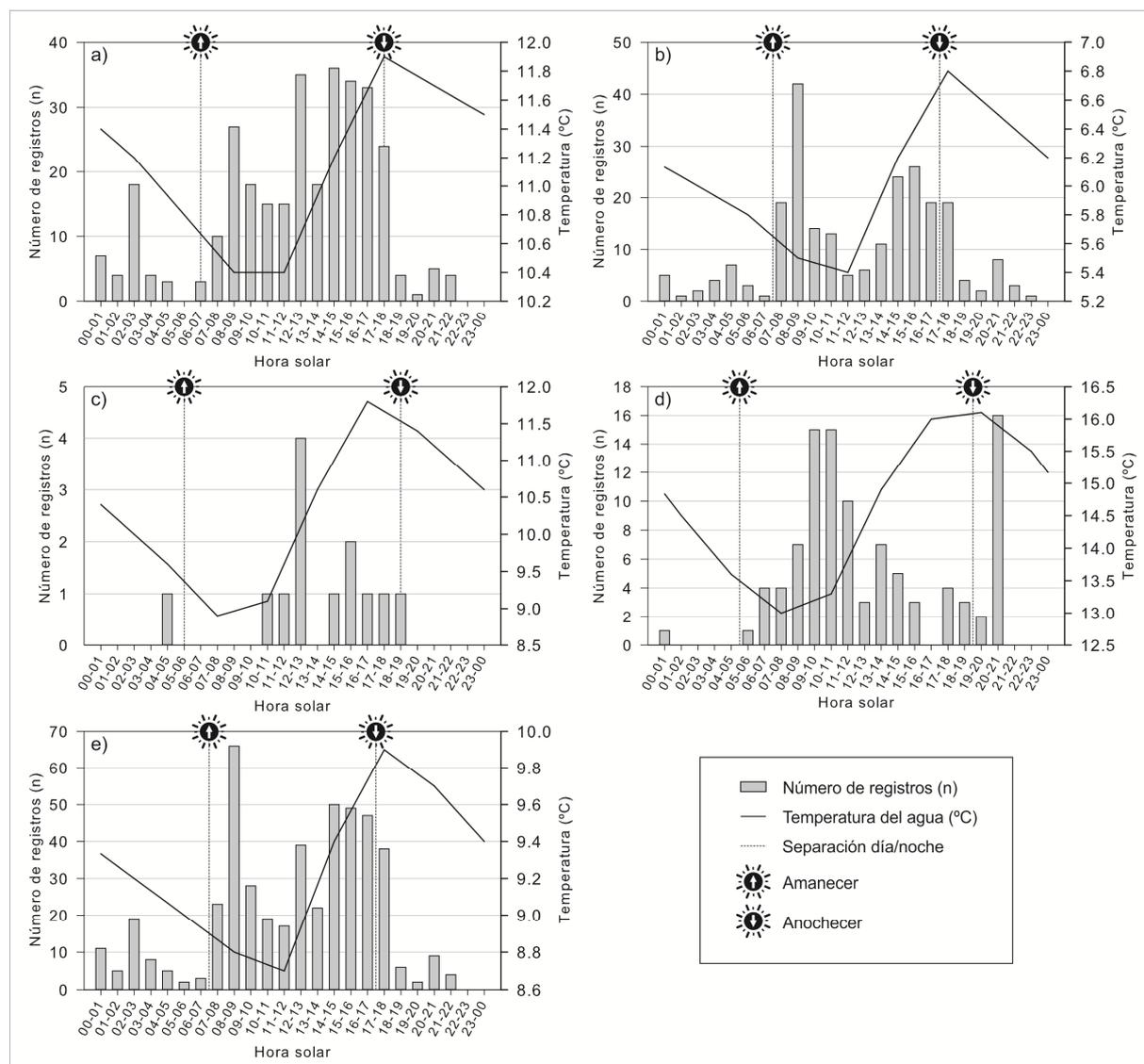


Figura 5. Número de registros por hora del día (hora solar) y estación. a) otoño; b) invierno; c) primavera; d) verano (coincidente con la migración estival pues en el mes de junio no hubo registros en el contador); e) migración reproductora (datos de 2 periodos de migración: 2011 y 2012). Se han indicado las horas del orto y ocaso medias así como la temperatura del agua media horaria de cada estación/periodo.

5. DISCUSIÓN

5.1. Migración y contadores de peces

Los contadores de peces instalados en escalas para peces son una forma efectiva de recolectar datos de peces migrantes (Baumgartner et al., 2012) y han sido ampliamente utilizados en Europa y Norteamérica (Shardlow y Hyatt, 2004; Santos et al., 2008). Sin embargo, su precisión se ve disminuida en ríos con altas tasas de migración y de turbidez (Baumgartner et al., 2012). Shardlow y Hyatt (2004) describieron precisiones de detección de salmónidos de hasta el 95% para tasas de migración menores a 500 peces/h (la precisión decrece por la incapacidad de detección del sensor de más de un pez simultáneamente). Gudjonsson y Gudmundson (1994) reportaron precisiones del 99% para la detección de salmónidos para tasas de migraciones menores a 30 peces/día. Para el caso del río Porma, en el que no existen problemas de turbidez (sedimentos en suspensión < 5 mg/L) y el número de migrantes máximo registrados en un día, para el periodo de estudio, fue de 23, podemos concluir, en base a lo anterior, que el contador de peces es un método bastante eficaz para monitorizar el ascenso de los peces. Además, este método sin contacto presenta las ventajas de poder caracterizar la migración libre, sin estrés ni lesiones.

5.2. Épocas de ascenso y factores desencadenantes

La mayoría de los estudios relacionados con el seguimiento de los movimientos de la trucha común se centran únicamente en el periodo reproductivo (Saraniemi, et al., 2008). Este estudio supone una contribución importante al conocimiento del comportamiento de la trucha común, al abarcar un periodo de estudio superior al año completo, que pone de manifiesto la existencia de otros movimientos migratorios no asociados con la reproducción y que tendrán repercusiones en la gestión del medio fluvial y la conservación de especies.

Los movimientos asociados a la migración reproductiva, para la trucha común en poblaciones naturales de la Península Ibérica, ya han sido documentado por otros autores (Doadrio, 2002; Gosset et al., 2006) y demuestran que los meses con mayores movimientos ascensionales son noviembre y diciembre. Los resultados de este estudio son coherentes con la bibliografía, pues en el río Porma la mayor parte de migrantes se concentra sobre todo en estos dos meses.

Los movimientos ascensionales previos a la freza comienzan en el mes de septiembre, caracterizándose por una disminución de la radiación solar como consecuencia de la reducción de las horas de luz solar, factores estrechamente ligados al fotoperiodo, uno de los aspectos que caracterizan los movimientos pre-reproductivos (Meyers et al., 1992; Lucas, 2000). Otro factor clave en la migración de la trucha común según la bibliografía

consultada (Clapp et al., 1990; Meyers, 1992; Lucas y Baras, 2001) y los resultados del presente estudio es la temperatura del agua, observándose una disminución de la temperatura del agua del río Porma a partir de septiembre y durante todo el periodo de migración reproductiva. Concretamente, en noviembre (mes con mayor número de ascensos) la temperatura del agua oscila entre los 12.0°C y los 6.5°C y en diciembre (segundo mes con mayor número de migrantes) entre los 8.5°C y los 5.0°C. El hecho de que los movimientos de ascenso en la época de reproducción ocurran cuando se produce la disminución de la temperatura del agua pero que los resultados muestren una relación positiva entre el número de migrantes y la temperatura del agua, puede deberse al aumento de la actividad y de la capacidad de natación de los peces que ocurre al aumentar la temperatura del agua (Beamish, 1978; Beach, 1984; Videler, 1993). Resultados similares han sido encontrados por otros autores (Svendsen et al., 2004). Otro factor clave que influye en la migración reproductiva de la trucha común es el caudal (Banks, 1969; Lucas, 2000). Los resultados del estudio demuestran una relación positiva entre el número de migrantes y el caudal, hecho más patente durante la migración reproductiva del año 2011 en la que en el mes de noviembre se registra el mayor número de migrantes (128 peces) y el caudal medio mensual más elevado de todo el periodo de estudio (16.66 m³/s). La combinación del descenso de las temperaturas del río con el aumento de los caudales parece ser el desencadenante principal, junto con la disminución de la radiación solar, de la migración reproductiva de la trucha común. Estos resultados son coherentes con los aportados por otros autores (Ovidio et al., 1998; Lucas y Baras, 2001; Klemetsen et al., 2003).

En cuanto a los desplazamientos ascendentes detectados en los meses de julio y agosto, los resultados del estudio muestran que estos movimientos se producen cuando aumentan el caudal, la temperatura del agua y la radiación solar. En condiciones naturales y para regiones mediterráneas, los meses estivales se caracterizan por una disminución drástica de caudales, lo que impide o limita la migración (Lucas y Baras, 2001). Sin embargo, el río Porma en el tramo de estudio es un río regulado (figura 1), en el que en los meses de verano presenta caudales elevados, al contrario que en el tramo anterior al embalse o en corrientes cercanas no reguladas caracterizadas por un estiaje estival (figura 2), permitiendo el movimiento de la ictiofauna. Así mismo, la variación de la temperatura del agua está directamente relacionada con los ciclos de radiación solar y temperatura ambiente (Gutiérrez y García de Jalón, 1999). El aumento de la temperatura del agua parece ser uno de los factores clave en la migración estival. Autores como Clapp et al. (1990), Meyers et al. (1992) u Ovidio (1999) entre otros, afirman que estos movimientos estivales podrían responder a un comportamiento conductual de termorregulación, para la búsqueda de temperaturas de las aguas más convenientes. En concreto, Lessard y Hayes (2003) estudiaron el cambio en la

abundancia de trucha común (entre otras especies) que se produce en la zona de aguas abajo de las presas en la época de verano como consecuencia del aumento de la temperatura del agua, demostrando que en verano, la temperatura del agua aumenta más en la zona de aguas abajo de una presa en comparación con la de aguas arriba, produciéndose una disminución de la abundancia de trucha común en la zona de aguas abajo, desplazándose ésta hacia zonas de cabecera o afluentes con aguas más frías. Este hecho concuerda con lo visto en este estudio pues el contador de peces se sitúa en un pequeño azud de derivación de agua. Otros autores como [García de Jalón et al. \(1992\)](#) afirman que en tramos trucheros situados a cierta distancia aguas abajo de la presa del embalse, pueden verse favorecidos por el agua fría liberada en las sueltas de fondo para el riego durante los meses de verano, rebajando la temperatura del agua y aumentando la cantidad de oxígeno disuelto. Este podría suceder en los tramos situados a cierta distancia aguas abajo del embalse del Porma, motivando el ascenso de las truchas situadas en tramos más bajos y con temperaturas del agua más cálidas.

En primavera también se recogen registros de paso por el contador, aunque el número es muy pequeño en comparación con las otras épocas del año. El sentido biológico de estos movimientos en trucha común es desconocido ([Ovidio, 1999](#)), aunque hay autores ([Casado et al., 1989](#)) que han encontrado desplazamientos de juveniles y adultos de trucha originados por las migraciones ascendentes de ciprínidos que durante su época de freza (primavera) invaden los tramos trucheros bajos y medios, rompiendo la estructura territorial de las poblaciones de trucha y empujándolas a moverse aguas arriba.

5.3. Momentos de ascenso

La trucha común en general ha sido caracterizada como una especie que presenta patrones de movimiento horario diferentes entre estaciones. Durante el invierno la actividad es prácticamente crepuscular ([Bunnell et al., 1998](#); [Ovidio et al., 2002](#)), en primavera durante todo el día ([Ovidio et al., 2002](#)) o crepuscular ([Bunnell et al., 1998](#)), en verano crepuscular y nocturna ([Clapp et al., 1990](#), [Young, 1999](#); [Ovidio et al., 2002](#)), en otoño crepuscular ([Bunnell et al., 1998](#); [Ovidio et al., 2002](#)) y durante la época reproductiva nocturna ([Ovidio, 1999](#)). Sin embargo los resultados del estudio muestran que los movimientos de ascenso en la escala para peces del río Porma difieren de los aportados por la bibliografía consultada.

En otoño los movimientos de ascenso son en su mayoría diurnos, siendo la tarde el momento con mayores frecuencias, debido al incremento de la temperatura del agua a partir del mediodía, hecho que como ya se ha comentado, está asociado al aumento de la actividad y de la capacidad de natación de los peces cuando aumenta la temperatura del agua. En invierno son diurnos y crepusculares, observándose dos máximos de movimiento,

uno después del amanecer y otro por la tarde, cuando se produce el aumento de la temperatura del agua. En primavera y en verano los movimientos son prácticamente diurnos, habiendo durante la migración estival mayor movimiento en las mañanas, cuando la temperatura del agua es menor, debido probablemente al comportamiento de termorregulación, para evitar temperaturas excesivas. Durante la migración reproductiva a lo largo de todo el día, observándose al igual que en invierno, dos máximos, tras el amanecer y por la tarde cuando se produce el aumento de la temperatura del agua. [Swift \(1962 y 1964\)](#) encontró resultados similares a los del presente estudio al evaluar la actividad diaria y estacional de truchas encontrando que, para la mayor parte del año, están más activas durante las horas de luz que durante las horas de oscuridad.

El hecho de que la temperatura del agua no resultase significativa en el análisis para ninguna de las estaciones a pesar de ver claro un patrón de aumento del número de migrantes después del mediodía en otoño e invierno (cuando aumenta la temperatura) o durante la mañana en el verano (cuando disminuye), puede ser debido a la existencia de movimientos durante otras horas del día, fundamentalmente durante el amanecer y el atardecer. Los cambios en la intensidad lumínica que se produce en estos momentos estimulan el incremento de la actividad de esta especie, especialmente durante el amanecer ([Bachman et al., 1979](#)). Hay autores ([Elliot, 1979](#); [Neveu, 1980](#); [Giroux et al., 2000](#)) que relacionan este incremento en la actividad con la alimentación.

Las diferencias observadas entre los diferentes autores, así como con el presente estudio, podrían explicarse en base a que los patrones de movimiento varían entre individuos de diferentes ríos. Las razones podrían estar ligadas a las condiciones de luminosidad, abundancia de comida, presencia de depredadores o regímenes de temperatura, todos ellos factores que varían con el entorno ([Clapp et al., 1990](#)).

5.4. Migración y desove

En la Península Ibérica, la trucha común se reproduce en otoño y/o invierno, ocurriendo la freza más pronto cuanto mayor sea la latitud y la altitud debido a las temperaturas más bajas y al mayor tiempo de incubación de los huevos ([Klemetsen et al., 2003](#); [Gortázar et al., 2007](#)). Según los datos de la piscifactoría de Vegas del Condado, el 75% de truchas (aquellas con linaje Porma, exclusivas para repoblación) realiza el desove la última semana de diciembre y la primera de enero, mientras que el 25% restante lo hace del 15 al 25 de diciembre y del 7 al 30 de enero. A la vista de que los movimientos de ascenso en la época reproductiva empiezan a principios de octubre y se extienden hasta febrero (figura 5), se puede concluir que, aunque la freza en la piscifactoría finalice en enero, en el río Porma se extienda al menos hasta febrero, puesto que aunque los parámetros físico-químicos sean

los mismos (la piscifactoría utiliza el agua del río), los parámetros ecológicos (alimentación, predación, influencia antrópica, etc.) son diferentes. En general, un mayor periodo de freza ocasiona una mayor ventaja de supervivencia (Gortázar et al., 2007) y garantiza la probabilidad de ajuste entre los esfuerzos reproductivos y los condicionantes ambientales adecuados (Splendiani et al., 2013).

6. CONCLUSIONES

Los contadores de peces instalados en escalas para peces proporcionan una forma interesante y útil de caracterizar la migración ascendente, permitiendo evaluar los movimientos piscícolas estacionales y diarios.

Para el caso del tramo de estudio del río Porma, se han detectado dos periodos importantes de migración ascendente de la trucha común: una migración reproductiva (desde octubre hasta diciembre) y una migración estival (desde julio hasta agosto), siendo los principales factores que desencadenan o condicionan estos movimientos la radiación solar, el caudal y la temperatura del agua.

Los movimientos diarios de la trucha común detectados han sido prácticamente diurnos en primavera, verano y otoño, en invierno diurnos y crepusculares y durante la migración reproductiva a lo largo de todo el día. Estos resultados difieren con los encontrados por otros autores. Sin embargo, esto podría explicarse en base a que los patrones de movimiento podrían variar entre individuos de diferentes hábitats.

El conocimiento de los patrones de migración de la trucha común es clave para su conservación y para la gestión del medio fluvial, teniendo aplicaciones directas en la gestión de los cotos y las temporadas de veda, en el diseño, funcionamiento y mantenimiento de las escalas para peces y en la programación temporal de actividades de restauración fluvial, entre otros.

7. AGRADECIMIENTOS

La autora quiere agradecer a la piscifactoría de Vegas del Condado (Junta de Castilla y León) por la cesión de sus instalaciones y los datos del contador de peces, a Magnus Thor Asgeirsson (Riverwatcher - VAKI) por atender las consultas sobre el contador y el software de gestión de los datos, a Fco. Javier Sanz Ronda por sus consejos, la dirección y seguimiento del trabajo y a Juan Francisco Fuentes Pérez por su ayuda y apoyo durante toda la elaboración del presente trabajo.

8. BIBLIOGRAFÍA

Adam B, Bosse R, Dumont U, Hadderingh R, Joergensen L, Kalusa B, Lehmann G, Pischel R, Schwevers U, 2006. Fish Protection Technologies and Downstream Fishways. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V, Hennef, Deutschland. 226 pp.

Araújo MJ, Ozório ROA, Antunes C, 2013. Energetic aspects of spawning migrations and their implications for the management of southern European diadromous fish populations. *Limnetica* 32 (2): 303-320.

Bachman RA, Reynolds WW, Casterlin ME, 1979. Diel locomotor activity patterns of wild brown trout (*Salmo trutta* L.) in an electronic shuttlebox. *Hydrobiologia* 66 (1): 45-47.

Baeza D, Martínez-Capel F, García de Jalón D, 2003. Variabilidad temporal de caudales: aplicación a la gestión de ríos regulados. *Ingeniería del agua* 10 (4): 469-478.

Banks JW, 1969. A Review of the Literature on the Upstream Migration of Adult Salmonids. *J Fish Biol* 1: 85-136.

Baumgartner LJ, Bettain M, Mcpherson J, Jones M, Zampatii B, Beyer K, 2012. Influence of turbidity and passage rate on the efficiency of an infrared counter to enumerate and measure riverine fish. *J Appl Ichthyol* 28: 531-536.

Beach MH, 1984. Fish pass design. Criteria for the design and approval of fish passes and other structures to facilitate the passage of migratory fishes in rivers. Fisheries research technical report, 78. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Lowestoft, UK. 46 pp.

Beamish FWH, 1978. Swimming capacity. En: *Fish Physiology*, Vol. VII. Locomotion. (Hoar WH DJ Randall, ed). Academic Press, New York, USA. Pp: 101-87.

Brönmark C, Hulthén K, Nilsson PA, Skov C, Hansson LA, Brodersen J, Chapman BB, 2014. There and back again: migration in freshwater fishes. *Can J Zool-Rev Can Zool* 92 (6): 467-479.

Bunnell DB, Isely JJ, Burrell KH, Van Lear DH, 1998. Diel Movement of Brown Trout in a Southern Appalachian River. *Trans Am Fish Soc* 127: 630-636.

Cabral, MJ (coord), Almeida J, Almeida PR, Delliger T, Ferrand de Almeida N, Oliveira ME, Palmeirim JM, Queirós AI, Rogado L, Santos-Reis M (eds), 2005. Livro Vermelho dos Vertebrados de Portugal. Instituto da Conservação da Natureza, Lisboa, Portugal. 659 pp.

Casado C, García de Jalón D, del Olmo CM, Barceló E, Menes F, 1989. The effect of an irrigation and hydroelectric reservoir on its downstream communities. *Regul Rivers: Res Manage* 4 (3): 275-284.

Clapp DF, Clark RD, Diana JS, 1990. Range, activity and habitat of large, free-ranging brown trout in a Michigan stream. *Trans Am Fish Soc* 119: 1022-1034.

Clavero M, Blanco-Garrido F, Prenda J, 2004. Fish fauna in Iberian Mediterranean river basins: biodiversity, introduced species and damming impacts. *Aquat Conserv-Mar Freshw Ecosyst* 14 (6): 575-585

Doadrio I, 2002. Atlas y libro rojo de los peces continentales de España. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, España. 374 pp.

Dodson JJ, Aubin-Horth N, Thériault V, Páez DJ, 2013. The evolutionary ecology of alternative migratory tactics in salmonid fishes. *Biol Rev* 88: 602-625.

Elliott JM, 1973. The food of brown trout and rainbow trout (*Salmo trutta* and *S. gairdneri*) in relation to the abundance of drifting invertebrates in a mountain stream. *Oecologia* 12: 329-347.

Gallego R, 2009. Plan técnico de gestión de la pesca en la cuenca del río Duerna (León). Trabajo fin de carrera. Universidad de Valladolid, España.

García de Jalón D, 1992. Dinámica de las poblaciones piscícolas en los ríos de montaña ibéricos. *Ecología* 6: 281-296.

García de Jalón D, González del Tánago M, Casado C, 1992. Ecology of regulated streams in Spain: an overview. *Limnetica* 8: 161-166.

Giroux F, Ovidio M, Philippart JC, Baras E, 2000. Relationship between the drift of macroinvertebrates and the activity of brown trout in a small stream. *J Fish Biol* 56: 1248-1257.

Gortázar J, García de Jalón D, Alonso-González C, Vizcaíno 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.

Gosset C, Rives J, Labonne J, 2006. Effect of habitat fragmentation on spawning migration of brown trout (*Salmo trutta* L.). *Ecol Freshw Fish* 15: 247-254.

Gudjonsson S, Gudmundson H, 1994. Development and testing of a new light gate fish counter in rivers. International Council for Exploration of the Sea (ICES) 1994 Copenhagen. Statutory Meeting M:14.

Gutiérrez B, García de Jalón D, 1999. Modelización térmica de los ríos Cea y Manzanares. *Limnetica* 17: 1-12.

- Klemetsen A, Amundsen PA, Dempson JB, Jonsson B, Jonsson N, O'connell MF, 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.
- Jensen AJ, Heggberget TG, Johsen BO, 1986. Upstream migration of adult Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in the River Vefsna, northern Norway. *J Fish Biol* 29: 459-465.
- Lessard JL, Hayes DB, 2003. Effects of elevated water temperature on fish and macroinvertebrate communities below small dams. *River Res Appl* 19 (7): 721–732.
- López-Álvarez JV, 1984. Observaciones sobre la alimentación natural de la trucha común (*Salmo trutta fario* L.) en algunos ríos de la cuenca del Duero. *Limnetica* 1: 247-255.
- Lucas MC, 2000. The influence of environmental factors on movements of lowland-river fish in the Yorkshire Ouse system. *Sci Total Environ* 251/252: 223-232.
- Lucas MC, Baras E, 2001. Migration of freshwater fishes. Blackwell Science, Oxford, UK. 420 pp.
- Meyers LS, Thuemler TF, Kornely GW, 1992. Seasonal movements of brown trout in northeast Wisconsin. *North Am J Fish Manage* 12: 433-441.
- Neveu A, 1980. Relations entre le benthos, la dérive, le rythme alimentaire et le taux de consommation des truites communes (*Salmo trutta* L.) en canal expérimental. *Hydrobiologia* 76: 217-228.
- Nicola GG, Almodóvar A, 2002. Reproductive traits of stream-dwelling brown trout *Salmo trutta* in contrasting neighbouring rivers of central Spain. *Freshw Biol* 47: 1353–1365.
- Nilsson C, Reidy CA, Dynesius M, Revenga C, 2005. Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. *Science* 308 (5720): 405-408.
- Oscos J, Escala MC Campos F, 2000. La alimentación de la trucha común (*Salmo trutta* L., 1758) en un río de Navarra (N. España). *Limnetica* 18: 29-35.
- Ovidio M, 1999. Cycle annuel d'activité de la truite commune (*Salmo trutta* L.) adulte: étude par radio-pistage dans un cours d'eau de l'Ardenne Belge. *B Fr Peche Piscic* 352: 01-18.
- Ovidio M, Baras E, Goffaux D, Birtles C, Philippart JC, 1998. Environmental unpredictability rules the autumn migration of brown trout (*Salmo trutta* L.) in the Belgian Ardennes. *Hydrobiologia* 371/372: 263–274.
- Ovidio M, Baras E, Goffaux D, Giroux F, Philippart JC, 2002. Seasonal variations of activity pattern of brown trout (*Salmo trutta*) in a small stream, as determined by radio-telemetry. *Hydrobiologia* 470: 195–202.

Prchalová M, Slavík O, Bartoš L, 2006. Patterns of cyprinid migration through a fishway in relation to light, water temperature and fish circling behavior. *Intl J River Basin Management* 4 (3): 213-218.

Rosgen DL, Silvey HL, 1996. *Applied river morphology*. Wildland Hydrology Books, Pagosa Springs, Colorado, USA. 390 pp.

Santos JM, Pinheiro PJ, Ferreira MT, Bochechas J, 2008. Monitoring fish passes using infrared beaming: a case study in an Iberian river. *J Appl Ichthyol* 24: 26-30.

Saraniemi M, Huusko A, Tahkola H, 2008. Spawning migration and habitat use of adfluvial brown trout, *Salmo trutta*, in a strongly seasonal boreal river. *Boreal Environ Res* 13: 121-132.

Saunders DL, Meeuwig JJ, Vincent ACJ, 2002. Freshwater protected areas: strategies for conservation. *Conserv Biol* 16 (1): 30-41.

Schrank AJ, Rahel FJ, 2004. Movement patterns in inland cutthroat trout (*Oncorhynchus clarki utah*): management and conservation implications. *Can J Fish Aquat Sci* 61: 1528–1537.

Shardlow TF, Hyatt KD, 2004. Assessment of the Counting Accuracy of the Vaki Infrared Counter on Chum Salmon. *North Am J Fish Manage* 24 (1): 249-252.

Slavík O, Horký P, Bartos L, 2009. Occurrence of cyprinids in fish ladders in relation to flow. *Biologia* 64 (5): 999-1004.

Splendiani A, Ruggeri P, Giovannotti M, Barucchi VC, 2013. Role of environmental factors in the spread of domestic trout in Mediterranean streams. *Freshw Biol* 58: 2089–2101.

Svendsen JC, Koed A, Aarestrup K, 2004. Factors influencing the spawning migration of female anadromous brown trout. *J Fish Biol* 64: 528–540.

Swift DR, 1962. Activity cycles in the brown trout (*Salmo trutta* L.), fish feeding naturally. *Hydrobiologia* 20: 241–247.

Swift DR, 1964. Activity cycles in the brown trout (*Salmo trutta* L.), fish artificially fed. *J Fish Res Board Can* 21 (1): 133–138.

VAKI, 2015. *Analysing Data* (Fiskevårdsteknik AB, SWEDEN). Disponible en: http://www.vaki.is/media/PDF/Mats_analyze.pdf. [23/06/2015]

Videler JJ, 1993. *Fish Swimming*. Chapman & Hall, London, UK. 260 pp.

Young MK, 1999. Summer diel activity and movement of adult brown trout in high-elevation streams in Wyoming, U.S.A. *J Fish Biol* 54: 181–189.