

INFORME FINAL

# **EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DEL ESTADO ECOLÓGICO DEL RÍO CASTRIL Y DE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS AGUAS ABAJO DEL EMBALSE DEL PORTILLO**

**Diego García de Jalón Lastra, Ana Cabrejas Carazo, Carlos  
Alonso González, Elsa García Barreras y Javier Gortazar**

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Departamento de Sistemas y Recursos Naturales  
Grupo de Hidrobiología

2021

# INFORME FINAL

## LA EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DEL ESTADO ECOLÓGICO DEL RÍO CASTRIL Y DE LOS CAUDALES ECOLÓGICOS AGUAS ABAJO DEL EMBALSE DEL PORTILLO

Diego García de Jalón Lastra  
Ana Cabrejas Carazo  
Carlos Alonso González  
Elsa García Barreras  
Javier Gortazar

### PRESENTACIÓN


A petición de la **Asociación Grupo de Desarrollo Local Altiplano de Granada (GDR ALTIPLANO)** se elabora este Informe con objeto de evaluar el Estado Ecológico y los Caudales Ecológicos del río Castril.

Este informe pretende evaluar el estado ecológico del río aguas arriba y aguas debajo de la Presa de El Portillo, a través de sus comunidades tanto de macroinvertebrados como de peces. El Informe también pretende evaluar la evolución de las comunidades de peces y macroinvertebrados desde el año 2002 en que la Universidad de Granada realizó una “Asistencia Técnica para la Valoración, Seguimiento y Protección de Poblaciones Faunísticas del río Castril”.

Para ello, se han repetido los muestreos de peces y macroinvertebrados en los mismos cinco puntos de muestreo en que se basó la Asistencia Técnica para el río Castril en 2002 (dos aguas arriba del embalse y tres aguas abajo) y durante las cuatro estaciones del año. Ello nos ha permitido por comparación ver la evolución, especialmente debajo de la presa, de su estado ecológico y valorar el impacto de la regulación de caudales a que se ha visto sometido, a través de la determinación de las especies que han desaparecido, mantenido o invadido los diferentes tramos del río. Pretendemos correlacionar los cambios en el régimen de caudales con los cambios faunísticos y las alteraciones en el estado ecológico.

Finalmente, en base a este conocimiento del estado de las poblaciones y a su evolución a lo largo del tiempo sometido a las presiones hidromorfológicas causadas por la presa y embalse de El Portillo, se ha realizado una propuesta de régimen de caudales ecológicos para los tramos afectados. Por tanto, este informe consta de dos partes diferentes: 1ª) Evaluación y seguimiento del estado ecológico del río Castril; 2ª) Diseño de régimen Ecológico de caudales.

# Contenido

PARTE PRIMERA .....	4
EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DEL ESTADO ECOLÓGICO DEL RÍO CASTRIL .....	4
INTRODUCCIÓN .....	4
METODOLOGÍA .....	5
Macrobentos.....	5
 .....	5
 .....	5
Peces .....	6
Estaciones de muestreo.....	7
Calendario de muestreo .....	10
Análisis del medio físico.....	10
RESULTADOS .....	12
Análisis del medio 2020 .....	12
Temperatura .....	12
Conductividad .....	12
Análisis de caudales .....	13
Macroinvertebrados bentónicos 2020 .....	15
Composición .....	15
Estructura y Estacionalidad.....	17
Las Comunidades de Peces en 2020 .....	18
Composición .....	18
Tamaño de las poblaciones.....	21
Estructura en clases de edad de las poblaciones de trucha .....	26
Factor de condición de Fulton 'K' .....	28
Evolución temporal del río Castril: Análisis comparativo .....	30
Cambios en el Régimen de Temperaturas .....	30
Cambios en la conductividad .....	31

Cambios en el Régimen de Caudales .....	32
Cambios en las poblacionales de macroinvertebrados .....	34
Cambios en las Poblacionales de Peces .....	37
Estado Ecológico de las masas de agua .....	41
Efectos de la regulación del Embalse del Portillo .....	45
PARTE SEGUNDA.....	47
DISEÑO DE CAUDALES ECOLÓGICOS .....	47
Método Hidrobiológico.....	47
Método Hidrológico.....	59
Regímenes ecológicos de caudales.....	60
Regímenes Ecológicos de Caudales hidrológicos.....	61
Regímenes Ecológicos de Caudales hidrobiológicos.....	63
CONCLUSIONES.....	65
Evolución Temporal .....	66
Estado Ecológico .....	66
Efectos de la Presa de El Portillo.....	67
Caudales Ecológicos.....	68
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	68

## PARTE PRIMERA

# EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DEL ESTADO ECOLÓGICO DEL RÍO CASTRIL

## INTRODUCCIÓN

La evaluación del estado actual de las comunidades de peces y de macroinvertebrados bentónicos del río Castril y el análisis de su evolución a lo largo del tiempo constituyen elementos importantes para planificar la conservación de dichas especies y la mejora del hábitat fluvial que las alberga. El río Castril se encuentra en un entorno semiárido, al sur de la Península Ibérica, en la Comunidad Autónoma de Andalucía, al norte de la provincia de Granada. Sin embargo, sus altos caudales y estiajes reducidos, y sus bajas temperaturas del agua hacen que muchas de estas especies estén en la proximidad del límite de su distribución natural, por lo que su conservación es de gran interés biogeográfico.

Además de contar con una de las poblaciones más meridionales de trucha y de diversas especies de macroinvertebrados, el estudio de las comunidades acuáticas en el río Castril también presenta un gran interés debido a que se encuentra físicamente dividido por la presa del Embalse del Portillo. Esta presa se finalizó en 1999 y se encuentra en el límite del Parque Natural de la Sierra de Castril. Así, de las cinco estaciones que se muestrearon para este estudio, dos de ellas se encuentran aguas arriba del embalse, y por ello, protegidas por las figuras de protección de Parque Natural y de ZEC (Zona Especial de Conservación) y ZEPA (Zona de Especial Protección para las Aves), de la Red Natura 2000. El Parque Natural de la Sierra de Castril tiene una superficie de 12.696 ha y fue declarado el 28 de julio de 1989, por la Ley 2/1989 de 18 de julio. Se encuentra situado junto al Parque Natural de Sierras de Cazorla, Segura y las Villas, de la provincia de Jaén, por lo que juntos constituyen el espacio protegido terrestre continuo más extenso de España.

Históricamente, el río Castril ha sido objeto de conflicto social y político debido al interés persistente por hacer un trasvase desde su nacimiento hasta las zonas costeras de Murcia y Almería. El aporte constante de agua de buena calidad sin problemas de mineralización (Moral et al., 2005), han hecho que el río Castril tenga una alta demanda de sus recursos hídricos.

Es probable que el trasvase de este río hacia el sureste de la Península Ibérica sea uno de los conflictos del uso del agua más antiguos de la península. Desde el siglo XVI se reclamaba un trasvase para abastecer de agua a una de las regiones más secas de la península (Gil 1992). Más recientemente, el precursor de este interés es la Confederación Hidrológica del Guadalquivir, con proyectos como “Plan de Aprovechamiento Integral de los ríos Castril y Guardal” de 1980 (GDR Altiplano de Granada, 2020). En este se planteaba la construcción de un túnel de 6 km desde la cuenca del Castril hasta la presa de San Clemente, en la cuenca del río Guardal, atravesando Sierra Seca (Ruiz-Ortiz et al., 2012). Sin embargo, este proyecto y propuestas sucesivas que habrían perjudicado los valores ecológicos del río Castril y de su entorno, fueron paralizados en gran parte por actuaciones y movimientos sociales. Estos movimientos se convirtieron en actuaciones jurídicas que llegaron hasta organismos europeos, como el Parlamento Europeo. Estos movimientos fueron y siguen siendo llevados a cabo principalmente por la Plataforma por la

Defensa del río Castril, formada por ciudadanos del pueblo de Castril, además de otras organizaciones y colectivos (Hervás-Gámez y Delgado-Ramos, 2019).

Con el objetivo principal de describir los cambios que han sucedido en las comunidades piscícolas del río Castril, los resultados obtenidos en los muestreos del año 2020 se comparan con los obtenidos en un estudio realizado previamente. Este, se realizó hace 20 años, promovido por el entonces director del Parque Natural de la Sierra de Castril, Rafael de la Cruz, quien solicitó realizar un amplio estudio en el río Castril. Este proyecto coordinado por Javier Alba-Tercedor, de la Universidad de Granada, comprendía la caracterización química y la calidad biológica del agua, así como un amplio estudio de los macroinvertebrados, los peces y la nutria. Fue realizado por la Universidad de Granada, en colaboración con la Universidad de Santiago de Compostela y la ETSI de Montes de la Universidad Politécnica de Madrid durante los años 2001 y 2002.

## METODOLOGÍA

El Plan de muestreo se basa en obtener una representación estacional del ciclo biológico de las poblaciones de macroinvertebrados y peces del río Castril, por lo que se han realizado cuatro campañas de muestreo en cada una de las estaciones del año invierno, primavera, verano y otoño.

### Macrobentos

Para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos se realizarán muestreos semicuantitativos. Los muestreos cualitativos se realizaron mediante redes de mano con un tamaño de malla de 500 $\mu$ m y unas dimensiones de 25 cm de ancho por 30 cm alto. En cada punto de muestreo se realizaron 10 kics, distribuidos proporcionalmente a los diferentes microhábitats existentes en cada punto. Para evitar que las redes se colmaten y que la corriente permita escapar a los organismos capturados, el contenido de las redadas se ha vaciado después de cada 'kick' en bandejas de plástico. Las muestras se guardaron en botes de plástico con etanol y se trasladan al laboratorio, en donde se separan los individuos y se determinan, con lo que se calcularon la abundancia semi-cuantitativa y el porcentaje de presencia de los diferentes taxones en cada punto de muestreo.



Foto 1.- Muestreo de macroinvertebrados en corriente mediante red de mano; separación y fijación de muestra.

## Peces

Se han inventariado y caracterizado las poblaciones piscícolas que habitan en el río Castril mediante captura peces para su análisis. Hemos elegido el muestreo con pesca eléctrica que es la técnica más eficaz, representativa y menos dañina en ríos vadeables. En esencia, la pesca eléctrica consiste en someter a las aguas a un campo eléctrico. Este campo se crea mediante un generador corriente alterna alimentado por gasolina, y un rectificador que transforma la corriente alterna en continua, al cual están conectados los electrodos. El cátodo (-) está fijo en una orilla mientras que el ánodo (+) es móvil y consiste en una pértiga terminada en un aro metálico de unos 30 cm de diámetro. Se debe emplear el voltaje más bajo capaz de crear un campo eléctrico que tenga la intensidad suficiente para obtener una buena eficacia de pesca. En el río Castril, por su naturaleza caliza, el agua presenta una gran conductividad, por lo que será posible realizar los muestreos con 220 V.



Foto 1: Generador de corriente



Foto 2: Ánodo (amarillo) y sacadera.

La pesca eléctrica se realizó en tramos cerrados de unos 100 m de largo, pescando hacia aguas arriba, para evitar verse afectado por la turbiedad producida por las pisadas y para coger mejor los peces afectados por electronarcosis. El equipo de muestreo estará formado por una persona que lleva el ánodo y dos encargadas de la captura y traslado de ejemplares. En la orilla una persona más se encarga del apoyo, vigilancia del proceso y seguridad del equipo. Cada uno de los muestreadores debe ir provisto de vadeador y guantes de goma.

Una vez terminada cada pasada se procedió a la medición y pesado de los ejemplares capturados. Para ello se dispone de un ictiómetro de precisión 1 milímetro con el que medimos la longitud del pez desde el extremo de la cabeza hasta la horquilladura de la cola (longitud furcal). Para pesar los peces hay una báscula de 2 gramos de precisión.



*Foto 3: Ictiómetro de 1 mm de precisión con un ejemplar de trucha.*



*Foto 4: Báscula de 2 g de precisión.*

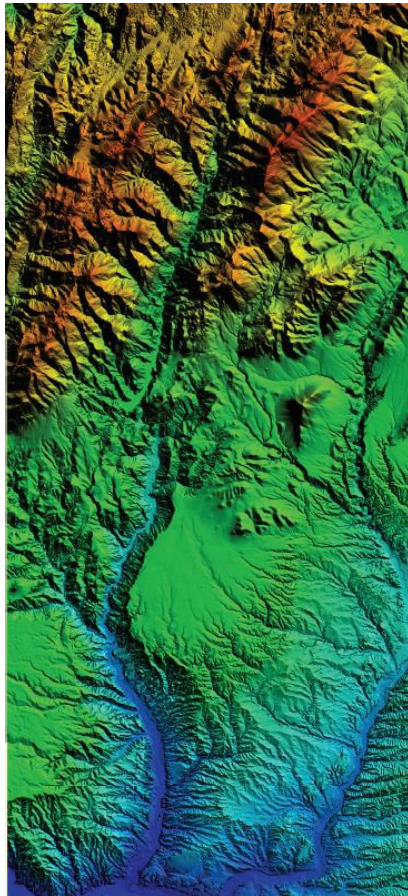
Con objeto de estimar el número total de peces existentes en cada tramo se ha utilizado un método de Extracción-Reducción o, más descriptivamente, de pasadas sucesivas sin devolución. Este método consiste en realizar una serie de pasadas en el tramo a muestrear. En cada pasada se aplicará el mismo esfuerzo de pesca (mismo equipo, las mismas personas, la misma duración y el mismo recorrido) y las capturas obtenidas se extraerán para su cuantificación y medición por separado. Los peces capturados no se devolverán al tramo muestreado hasta no haberse terminado todas las pasadas del muestreo.

En cada estimación de la población piscícola se realizarán generalmente tres pasadas, cuya duración puede oscilar entre 25 y 35 minutos. El número de peces capturados en cada una de las pasadas ha de representar una serie numérica decreciente, ya que cada vez quedan menos peces en el tramo acotado. La forma de cómo disminuyen las capturas es el criterio que se utiliza para estimar la población total. Para ello, utilizaremos el modelo de máxima verosimilitud ponderada de Carle & Strub (1978) resulta el más adecuado por su mayor robustez estadística.

## **Estaciones de muestreo**

Los muestreos se han realizado, tanto para macrobentos como para peces en estaciones de muestreo representativas de las condiciones del hábitat fluvial (figura 1), a lo largo del gradiente altitudinal del río que se muestra en figura 2. Estas estaciones son coincidentes con las del muestreo de 2002 con objeto de dar mayor precisión al análisis comparativo.





### LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES DE MUESTREO



Figura 1.- Mapa altitudinal del río Castril y esquema de la distribución de las estaciones de muestreo

#### A (Ca-1): Cortijo de la Saludada

Aguas abajo de la suelta de agua de la minicentral.  
 Coordenadas U.T.M.: 30S0521523 Y:4192755  
 Paraje: Cortijo de la Saludada  
 Término municipal: Castril  
 Altitud: 1.040 m  
 Pendiente: 16 m/km  
 Distancia al nacimiento: 4,708 km  
 Diámetro medio del sustrato: 136 mm  
 Denominación de la estación: C-3  
 Accesos: Pista que sale de la carretera comarcal C-330



#### B (Ca-2): Puente de Lézar

Representativo del tramo anterior al embalse de El Portillo.  
 Coordenadas U.T.M.: 30S0519905 Y:4188922  
 Paraje: Puente de Lézar  
 Término municipal: Castril  
 Altitud: 940 m  
 Pendiente: 10,4 m/km  
 Distancia al nacimiento: 9,105 km  
 Diámetro medio del sustrato: 71 mm  
 Denominación de la estación: C-4



Accesos: Pista que sale de la carretera comarcal C-330

C (Ca-3): Castril

Aguas abajo de la presa del embalse de El Portillo.

Coordenadas U.T.M.: 30S0518892 Y:4183433

Paraje: Castril

Término municipal: Castril

Altitud: 840 m

Pendiente: 13.7 m/km

Distancia al nacimiento: 15,981 km

Diámetro medio del sustrato: 127 mm

Denominación de la estación: C-5

Accesos: Carretera comarcal C-330



D (Ca-4): Los Laneros

Representativo del tramo medio del río Castril.

Coordenadas U.T.M.: 30S0517633 Y:4173293

Paraje: Los Laneros

Término municipal: Cortes de Baza

Altitud: 710 m

Pendiente: 6.2 m/km

Distancia al nacimiento: 31,56 km

Diámetro medio del sustrato: 63 mm

Denominación de la estación: C-6

Accesos: Carretera que sale de Cortes de Baza



E (Ca-5): Cortes de Baza

Coordenadas U.T.M.: 30S0519664 Y:4165483

Término municipal: Cortes de Baza

Altitud: 644 m

Pendiente: 6.4 m/km

Distancia al nacimiento: 42,417 Km

Diámetro medio del sustrato: 52 mm

Longitud del tramo: 27,879 km

Accesos: Pista que sale de carretera de Cortes a Campocámara



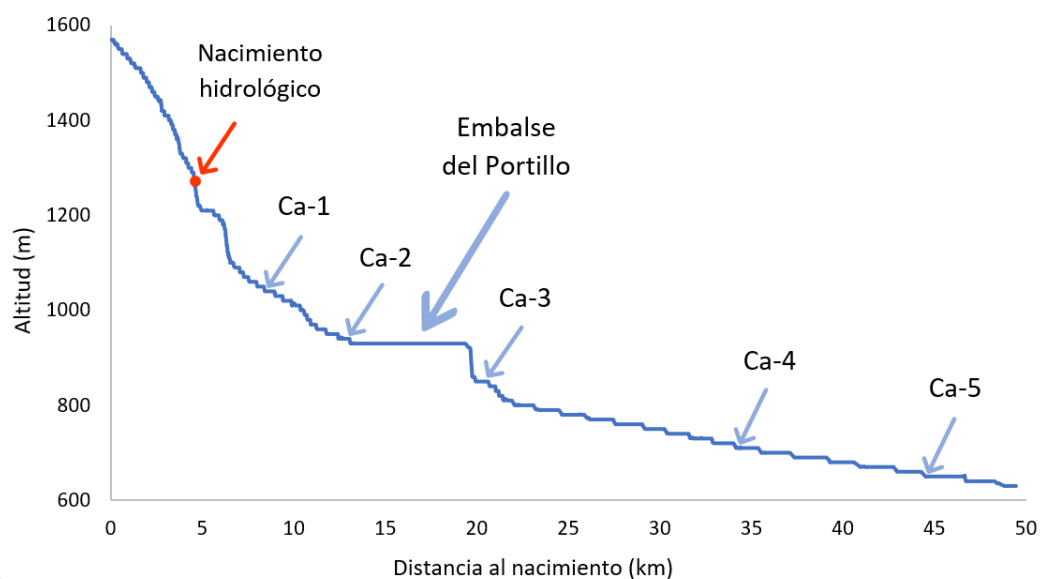


Figura 2.- Perfil longitudinal del río Castril donde se señalan las estaciones de muestreo.

## Calendario de muestreo

Para este estudio se realizaron cuatro campañas en 2020, cuyas fechas se recogen en la tabla 1. La primera campaña, correspondiente a la campaña de invierno se llevó a cabo durante los días 5, 6 y 7 de marzo. La campaña de primavera se llevó a cabo el 24, 25 y 26 de junio. La de verano el 28, 29 y 30 de septiembre. Y la campaña de otoño durante los días 30 de noviembre y 1 y 2 de diciembre.

Tabla 1.- Calendario de campañas de muestreo de 2020.

Campaña	Fechas
Invierno	05/03 - 07/03
Primavera	24/06 - 26/06
Verano	28/09 - 30/09
Otoño	30/11 - 02/12

## Análisis del medio físico

En cada campaña se midió la temperatura del agua y la conductividad eléctrica en todas las estaciones de muestreo para tener una idea de cómo varían estas características fisicoquímicas del río a lo largo del cauce y a lo largo del año.

## Temperatura

La temperatura del agua es un factor ambiental que influye mucho en las poblaciones de peces, tanto es así que determina el crecimiento de estos. Para este estudio se tomaron las temperaturas de las cinco estaciones de muestreo en las cuatro campañas. Estos datos son diarios, tomados en el mismo día del muestreo de peces.

Además, se colocó un termógrafo en el río, a 1 km aguas abajo de la estación de Ca-3 durante 15 meses, desde el primer muestreo de marzo de 2020 a mayo de 2021. Se programó para medir las temperaturas por horas todos los días, con estos datos se obtienen las medias diarias de temperatura del agua para dicho lugar. Por otra parte, contamos con las temperaturas medidas durante los años 2002 hasta 2005 por Javier María Gortázar Rubial, que utilizó para su Tesis Doctoral *Reproducción y gestión del hábitat en poblaciones de salmónidos en el extremo meridional de sus distribuciones naturales* de 2015.

## Conductividad

La conductividad eléctrica permite conocer el grado de mineralización del agua. Al igual que con la temperatura, también se midió la conductividad en cada estación de muestreo y campaña. Estos valores diarios se tomaron los mismos días que los muestreos de peces. Esta propiedad del agua se cuantifica mediante un medidor de conductividad, que presenta los valores en microsiemens por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) a 20°C, ya que esta característica del agua varía con la temperatura de forma que cuando esta aumenta, la conductividad también lo hace.

## Análisis de caudales

El caudal de un río varía constantemente de manera natural, ya sea, generalmente, por eventos de crecida, provocados por las lluvias, o de sequías, causados por la ausencia de estas. Sin embargo, la presencia de embalses y presas en los ríos provoca una regulación artificial de estos caudales. Debido a la presencia de las presas, las oscilaciones naturales del caudal cambian, así como la aportación natural de sedimentos, que son recogidos en el embalse, acumulándose en él, o la temperatura del agua, así como otras características fisicoquímicas de un río. Con el objeto de estudiar estos cambios en la dinámica natural, se analizan los caudales de entrada y salida del Embalse del Portillo para las distintas épocas estudiadas. Estos datos se obtienen del SAIH (Sistema Automático de Información Hidrológica) del Guadalquivir y se procesan utilizando el programa informático Excel.

## RESULTADOS

### Análisis del medio 2020

#### Temperatura

En la figura 3 se presenta los datos de temperatura del agua que se obtuvieron a lo largo de 15 meses mediante un termógrafo situado cerca de la estación Ca-3, aguas debajo de la Presa de El Portillo. Durante estos meses, desde marzo de 2020 a mayo de 2021, la temperatura media que se registró fue de 11,97°C, aunque la temperatura media anual, de marzo de 2020 a marzo de 2021, es de 12,32°C. La temperatura máxima fue de 16,88°C el 22 de octubre de 2020 y la mínima de 8,30°C el 16 de enero de 2021.

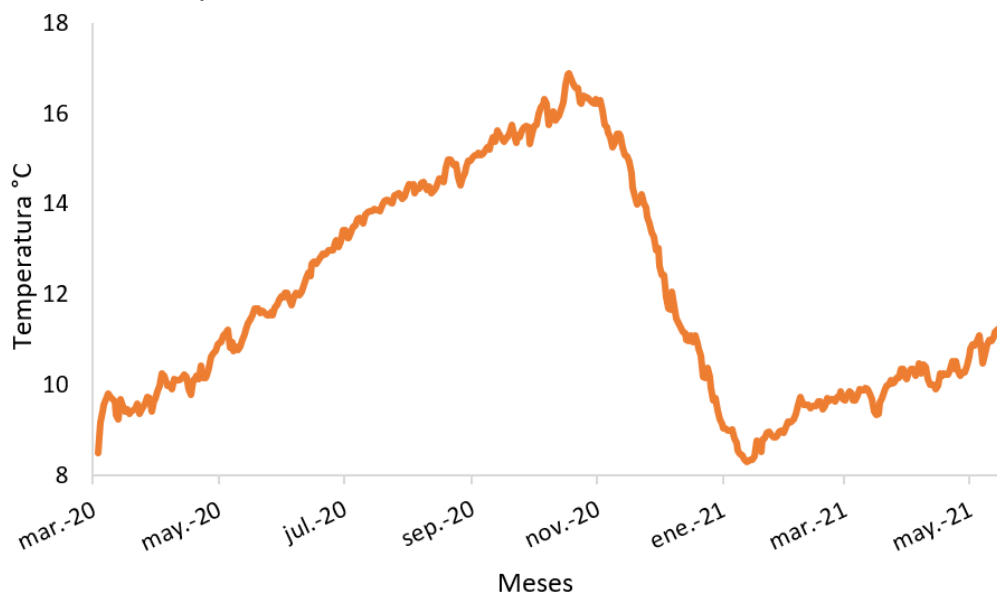


Figura 3.- Gráfico de la temperatura del agua diaria del río Castril, en Castril (debajo presa de El Portillo) medida por el termógrafo durante marzo de 2020 a mayo de 2021.

#### Conductividad

Los datos de conductividad eléctrica obtenidos por un medidor de conductividad a 20°C se tomaron en cada estación de muestreo y campaña. Estos datos se presentan en el gráfico de la figura 4, donde se aprecia una disminución generalizada de la conductividad en Ca-3. Sin embargo, tras esta disminución se observa un drástico incremento hasta Ca-5 en todas las campañas. Estos valores se recogen en la tabla II.II del Anexo II.

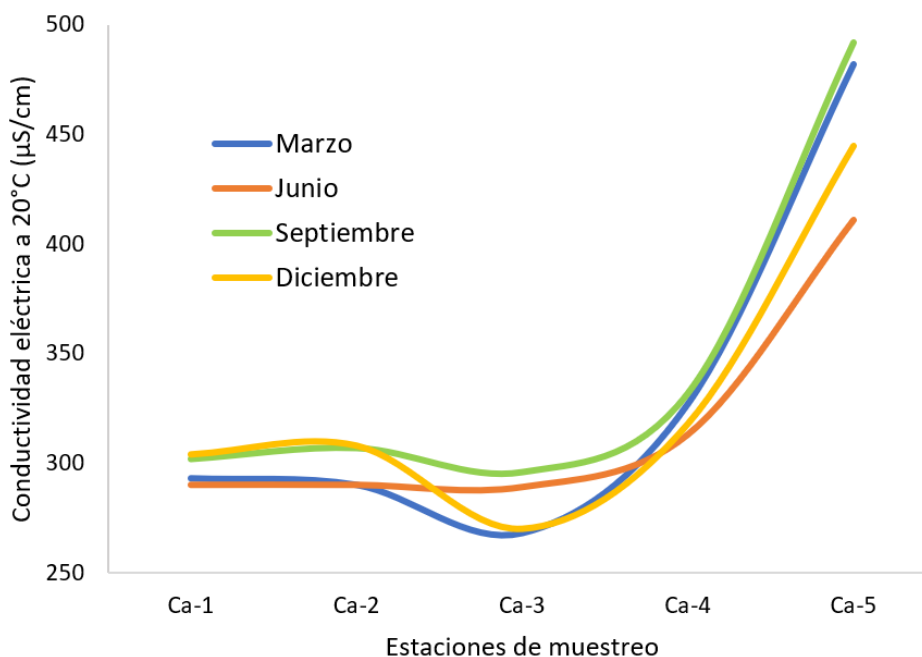
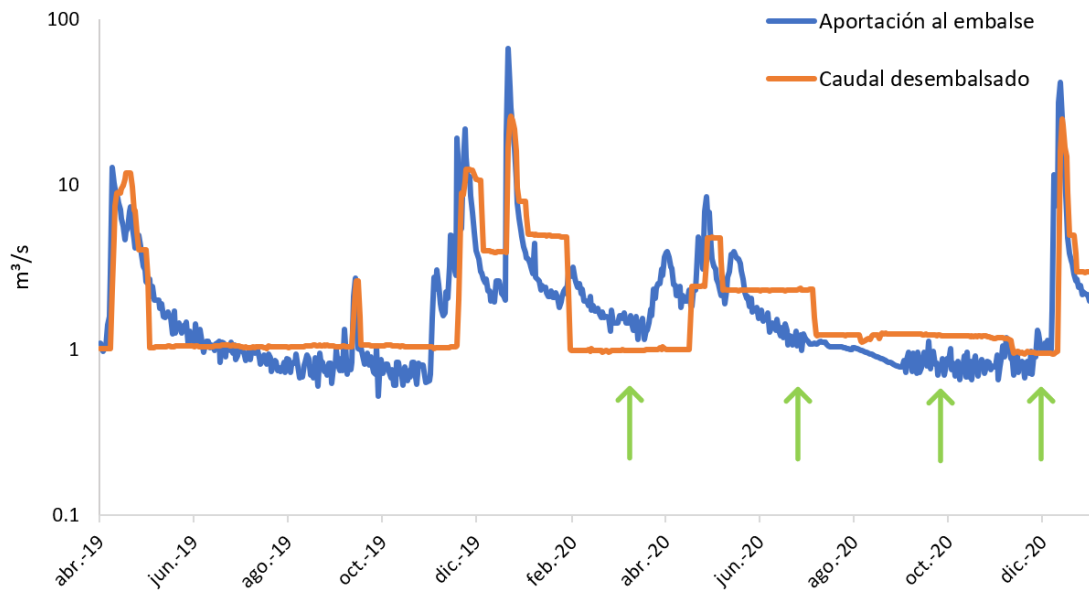


Figura 4.- Datos de conductividad eléctrica del agua de las 4 campañas en las estaciones de muestreo. Datos obtenidos el día muestreado.

El río Castril nace de manaderos de litología caliza, en Ca-1 y Ca-2 apenas varían estos valores, sin embargo, en Ca-3, una vez aguas abajo del Embalse del Portillo, estos valores disminuyen por efecto de la regulación del embalse, que retiene sedimentos y partículas en suspensión. Más aguas abajo, empieza a producirse un aporte de otros afluentes y arroyos, que aportan salinidad al río y provoca que la conductividad de las estaciones de Ca-4 y Ca-5 aumenten. Debido a que se sigue produciendo un aporte entre Ca-4 y Ca-5, en Ca-5 es donde se muestra los valores máximos en todas las campañas.

### Análisis de caudales

Los datos de caudales obtenidos a partir del SAIH del Guadalquivir se exponen en escala logarítmica en el gráfico de la figura 5.3, donde se comparan los m<sup>3</sup>/s que entran y salen del embalse. Las entradas al embalse se corresponden con el caudal que presentan las estaciones aguas arriba de este. En estas estaciones se aprecia como hay una oscilación diaria del caudal, ya que no existe ningún tipo de regulación y presenta la dinámica natural de los caudales. En cambio, con el caudal desembalsado, o salidas, podemos apreciar cómo funciona la regulación de los caudales debido al embalse. Se aprecia claramente como se intenta imitar, mediante las salidas del embalse, las aportaciones hídricas que se producen de manera natural aguas arriba de este. Sin embargo, estas no cuentan con las constantes variaciones que presentan los caudales naturales, sino que tienen una variación ortogonal, es decir, la variabilidad diaria es casi inexistente y estos caudales permanecen inalterables durante periodos de tiempo más largos. Cuando se producen avenidas se intenta trasladar este aumento en el aporte embalsado aguas abajo del embalse, aunque se suele transferir con valores inferiores que los naturales.



**Figura 5.-** Entradas y salidas de  $m^3/s$  en el Embalse del Portillo desde abril de 2019 hasta diciembre de 2020. Las flechas señalan cuando se llevaron a cabo los muestreos de 2020.

Se señalan en la figura 5 las campañas realizadas en el año 2020. Se observa cómo antes de todas ellas el río Castril sufrió una gran avenida en diciembre de 2019. También se produjo una avenida a finales de abril de 2020, aunque esta no fue tan intensa como la anterior. En el año 2019, también se produjo una avenida en abril. Y en diciembre de 2020, tras haberse realizado todos los muestreos, se produjo otra.

Analizando estas avenidas se observa claramente un patrón, existen dos periodos de avenidas que se producen en los meses de abril y entre los meses de diciembre y enero. Para comprobar esto también se descargaron del SAIH estos valores desde octubre de 2010 hasta mayo de 2021. En las avenidas producidas en estos últimos casi 11 años, se aprecia que efectivamente estas suelen ocurrir en dos periodos a lo largo del año, el primero se suele producir en marzo o abril, y el segundo en noviembre y diciembre, aunque en algún año estos periodos se han producido de forma continuada entre los meses de enero y febrero.

## Macroinvertebrados bentónicos 2020

En la tabla 2 se exponen las especies de macroinvertebrados a diferentes niveles taxonómicos (especie, género, familia o clase), junto con su distribución y abundancias en las cinco estaciones de muestreo, para cada una de las campañas estacionales (invierno, primavera, verano y otoño).

### Composición

La composición de las comunidades del macrobentos atendiendo a los grupos taxonómicos y su estructura según abundancias se ha representado en la figura 6, para cada una de las estaciones de muestreo. Se capturaron un total de 13640 individuos, de los cuales más de 4280 lo fueron en la estación más alta (Ca-1) y la de menor abundancia fue Ca-3. La abundancia media por muestreo fue de 766 individuos.

Las comunidades de macroinvertebrados del río Castril son ricas en especies, habiéndose determinado 84 taxones diferentes en el río Castril (22 taxa por muestreo), de los cuales 51 se encuentran en el tramo inmediatamente debajo de la presa (Ca-3); 44 tramos altos; y 37 y 36 en los bajos. En total se encontraron 58 familias diferentes, con una media de 18 familias por muestreo.

Podemos observar que Ephemeroptera y Trichoptera son los grupos predominantes en todas las estaciones, aunque a lo largo del eje longitudinal del Castril encontramos unas pautas de variación claras: Los tricópteros y plecópteros disminuyen aguas abajo, mientras que efemerópteros y dípteros aumentan su predominancia aguas abajo. Atendiendo a sus abundancias el orden Ephemeroptera es predominante (44%) seguido de Trichoptera (24%) y Diptera (16%). Por el contrario atendiendo a riqueza taxonómica, Trichoptera(24%) y Diptera (23%) son los órdenes preponderantes, seguidos de Coleoptera, Ephemeroptera y Mollusca.

En la estación de Castril aparecen unas abundancias significativas de coleópteros y moluscos que no ocurre en el resto de estaciones. En Laneros encontramos un dominio absoluto de los efemerópteros (propiciado por la especie *Oligoneuriella marichuae*), y el tramo de Cortes de Baza cambia la estructura con un predominio de efemerópteros y dípteros, que indica el cambio de Rhithron a Potamon en la zonación altitudinal del río Castril.





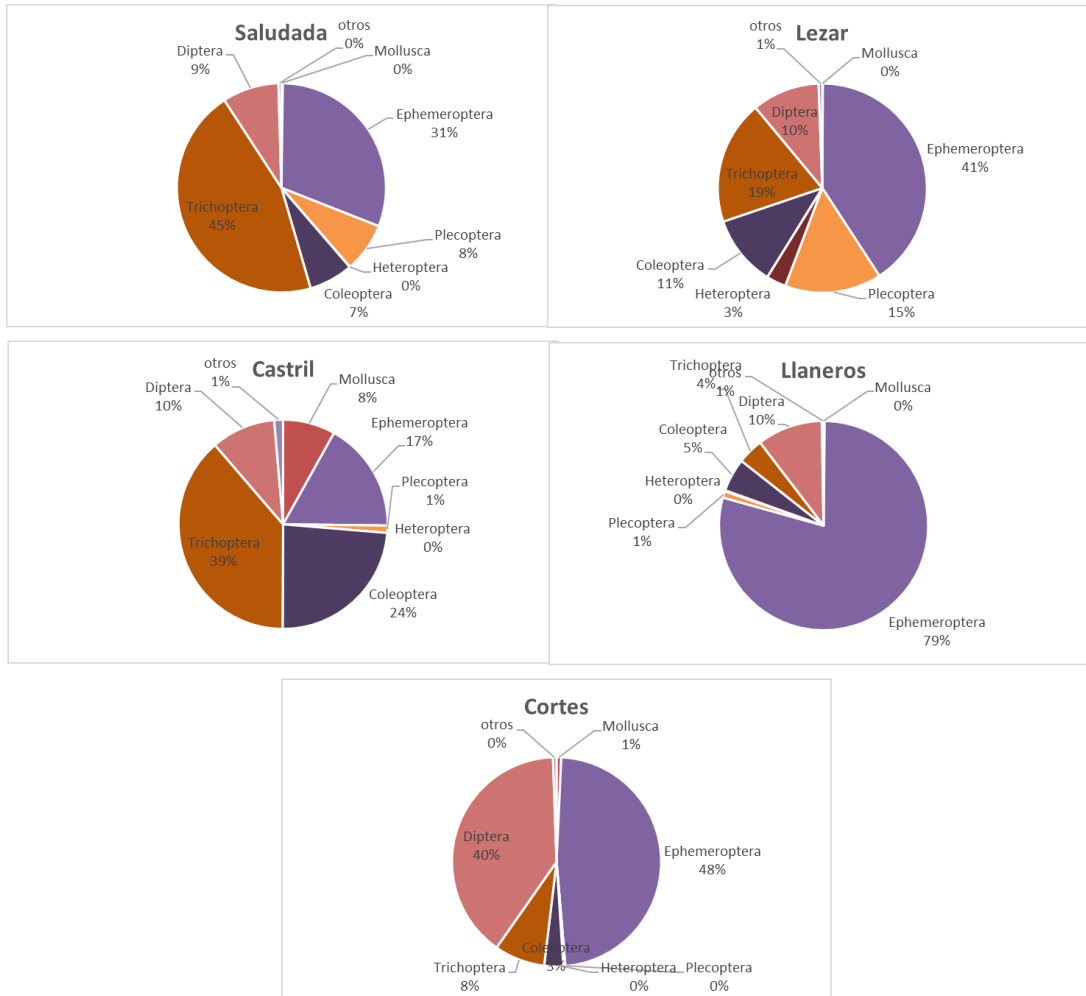


Figura 6.- Evolución de la composición y abundancia de las comunidades de macroinvertebrados a lo largo del río Castril.

## Estructura y Estacionalidad

La variación de la abundancia y riqueza taxonómica de las comunidades de macrobentos a lo largo del río Castril en los cuatro muestreos realizados se exponen en la figura 7. Puede observarse como las abundancias son en general menores en septiembre y mayores en junio, aunque los máximos corresponden al muestreo de marzo en el Cortijo de la Saludada y en Cortes de Baza. La riqueza es en general mayor en los muestreos de junio y marzo se mantiene más alta en los tramos altos (Saludada, Lezar y Castril) para disminuir significativamente en los tramos bajos (Llaneros y Cortes).

La complejidad de la estructura de la comunidad expresada mediante su diversidad de Shannon y su equitabilidad se muestran en la figura 7. Se repite la pauta de un descenso aguas abajo, con mayores valores en las tres primeras estaciones. Estas tres estaciones tienen unos valores muy altos de diversidad especialmente en los muestreos de marzo y de junio. La estación de Puente de

Leza (Ca-2) tiene las máximas diversidad y equitabilidad, pese a que su riqueza es menor que las estaciones contiguas. Se trata probablemente del efecto de la crecida del diciembre 2019 que removió todo el sustrato del cauce.

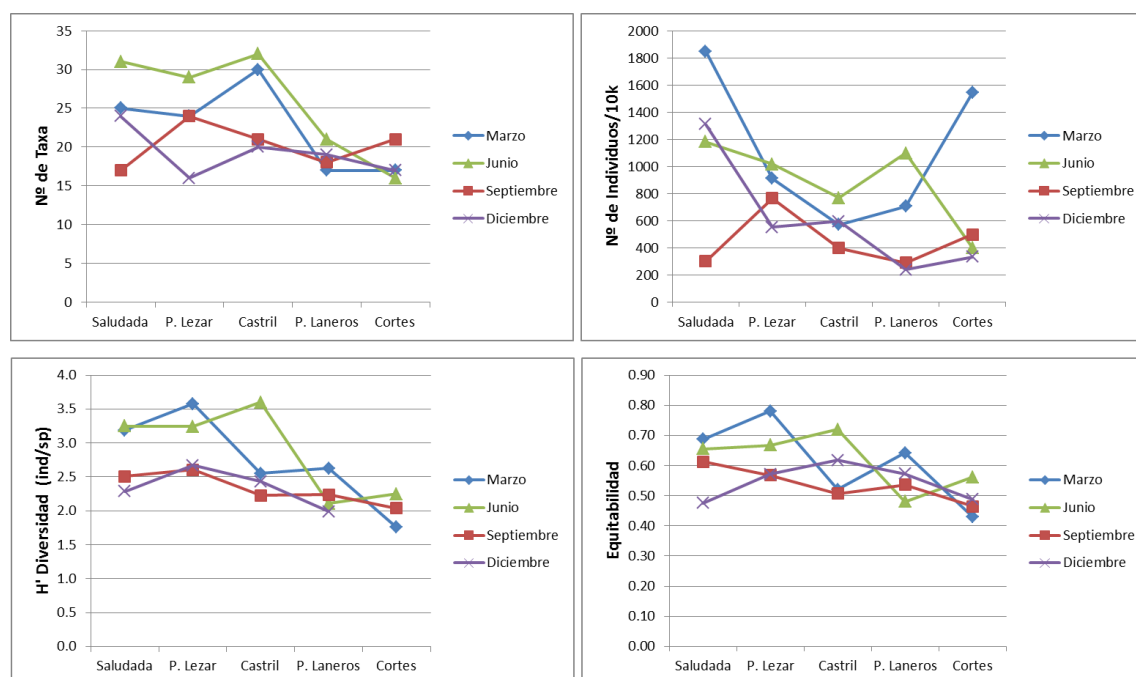


Figura 7.- Cambios en abundancia y riqueza del macrobentos del río Castril a lo largo de su gradiente altitudinal en los muestreos realizados en las cuatro estaciones del año.

## Las Comunidades de Peces en 2020

### Composición

La composición de especies encontrada en los muestreos de 2020 del río Castril (Tabla 3) tiene una especie dominante que es la trucha común (*Salmo trutta* Linnaeus), presente en todas las estaciones aguas arriba y debajo del Embalse del Portillo. La trucha se ha encontrado como especie única en las cuatro estaciones más altas (Cortijo de la Saludada, Puente de Lézar, Castril y Los Laneros). En cambio, en Cortes de Baza (Ca-5), además de truchas se observaron diferentes especies, principalmente de la familia Cyprinidae: barbo gitano (*Luciobarbus sclateri* Günther), boga, *Pseudochondrostoma willkommii* Steindachner, cacho (*Squalius pyrenaicus*), calandino (*Iberocypris alburnoides*), gobio, (*Gobio lozanoi*); y la colmilleja (*Cobitis palúdica*) de la familia Cobitidae. En la tabla 3 se recogen las composiciones piscícolas de cada campaña en Ca-5. En marzo y septiembre se obtuvieron ejemplares de barbo gitano, boga, cacho (*Leuciscus pyrenaicus*), calandino y gobio, todas ellas de la familia Cyprinidae. Además, en marzo también se

observaron ejemplares de colmilleja, de la familia Cobitidae. En los muestreos realizados en junio y diciembre aparecieron barbos, bogas y gobios, además de cachos en junio.

De la foto 5 a 10 se presentan imágenes de las diferentes especies de peces encontradas en Ca-5 en los distintos inventarios de 2020.

**Tabla 3.-** Composición de la comunidad piscícola en Ca-5 para los inventarios de 2020.

<b>Marzo</b>	<b>Junio</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Diciembre</b>
Trucha común		Trucha común	
Barbo gitano	Barbo gitano	Barbo gitano	Barbo gitano
Boga	Boga	Boga	Boga
Cacho	Cacho	Cacho	Gobio
Gobio	Gobio	Gobio	
Calandino		Calandino	
Colmilleja			



Foto 2.- Ejemplar de trucha capturado en marzo de 2020.



Foto 5.- Barbo, *Barbus sclateri*



Foto 6: Gobio, *Gobio lozanoi*



Foto 7: Cacho, *Leuciscus pyrenaicus*



Foto 8: Boga, *Chondrostoma willkommii*



Foto 9: Calandino, *Squalius alburnoides*



Foto 10 Colmilleja, *Cobitis paludica*

## Tamaño de las poblaciones

Las comunidades de peces del río Castril tienen unas densidades (figura 8A) que oscilan entre 100 y 3400 individuos por Hectárea. El tramo inmediatamente aguas abajo del Embalse de El Portillo (Castril) es que tiene una mayor densidad, mientras que las menores densidades las encontramos en Los Llaneros (debido a la canalización del tramo). Hay que señalar que las densidades mayores que hemos encontrado en el Castril en cada tramo ocurren en el muestreo de Septiembre, con excepción del tramo de Castril (Ca-3) que ocurre en Diciembre (relacionado posiblemente con la alteración de su régimen térmico causada por el embalse).

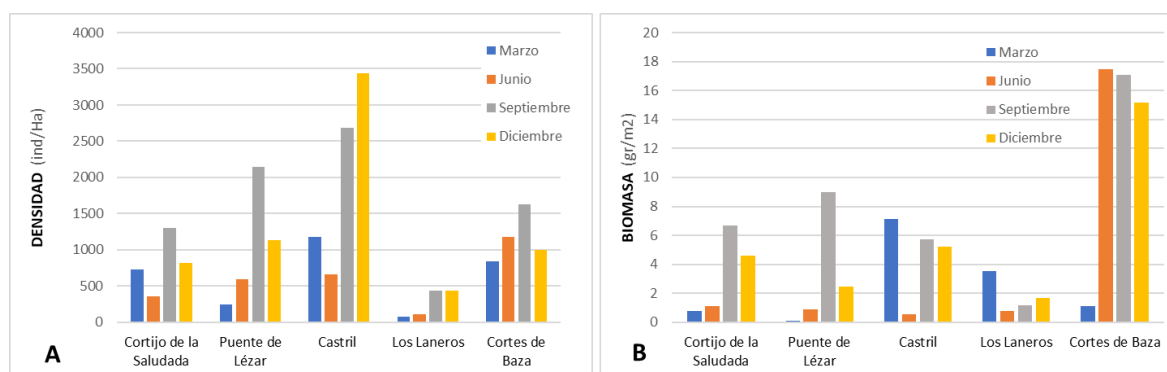


Figura 8.- Caracterización cuantitativa de las comunidades de peces del río Castril. A) en términos de densidades (individuos por Ha. B) en términos de biomasa (gramos/metro cuadrado).

Las biomásas de las comunidades de peces (Figura 8B) muestran un gran desequilibrio con unos valores extraordinariamente grandes en Cortes de Baza, posiblemente asociado a las subidas de freza de los grandes ciprínidos desde la cola del Embalse del Negratin, mientras que las menores biomásas las volvemos a encontrar en Los Llaneros.

## Las poblaciones de trucha

Según el Libro Rojo de los Vertebrados Amenazados de Andalucía, actualizado en el 2000, la trucha común se considera como especie “en peligro” en esta comunidad autónoma. En España, se cataloga como “vulnerable” (Doadrio et al., 2001) y en Europa como “preocupación menor” (Freyhof 2011). Esta diferencia en su estado de conservación se debe a la proximidad del límite de su distribución natural (Hampe y Petit, 2005).

## Densidad

En la figura 9 se exponen las densidades de trucha estimadas para las diferentes estaciones de muestreo para cada inventario realizado en 2020. Así, se presenta la evolución de las poblaciones de trucha entre las cinco estaciones de muestreo a lo largo de las campañas de 2020. Se puede observar cómo septiembre es la campaña en la que se obtuvieron mayores densidades de trucha en las estaciones aguas arriba del Embalse del Portillo, Ca-1 y Ca-2 y en la estación más aguas abajo y alejada de este, Ca-5. Por otra parte, Ca-3 y Ca-4, las estaciones aguas abajo del embalse, alcanzaron su mayor densidad de trucha en diciembre.

Comparando entre tramos, es en Castril (Ca-3), la situada justo agua abajo del embalse, la que obtuvo mayor densidad de truchas en marzo, septiembre y diciembre. En el muestreo de junio, Ca-2 fue la estación que presentó mayor densidad de trucha. Siendo Ca-5 la estación que presenta menor densidad de trucha en todas las campañas, llegando incluso a no presentar truchas en los muestreos de junio y diciembre. Esto podría deberse a que esta estación cuenta con otras especies, con las que la trucha podría estar compitiendo por el espacio y los recursos.

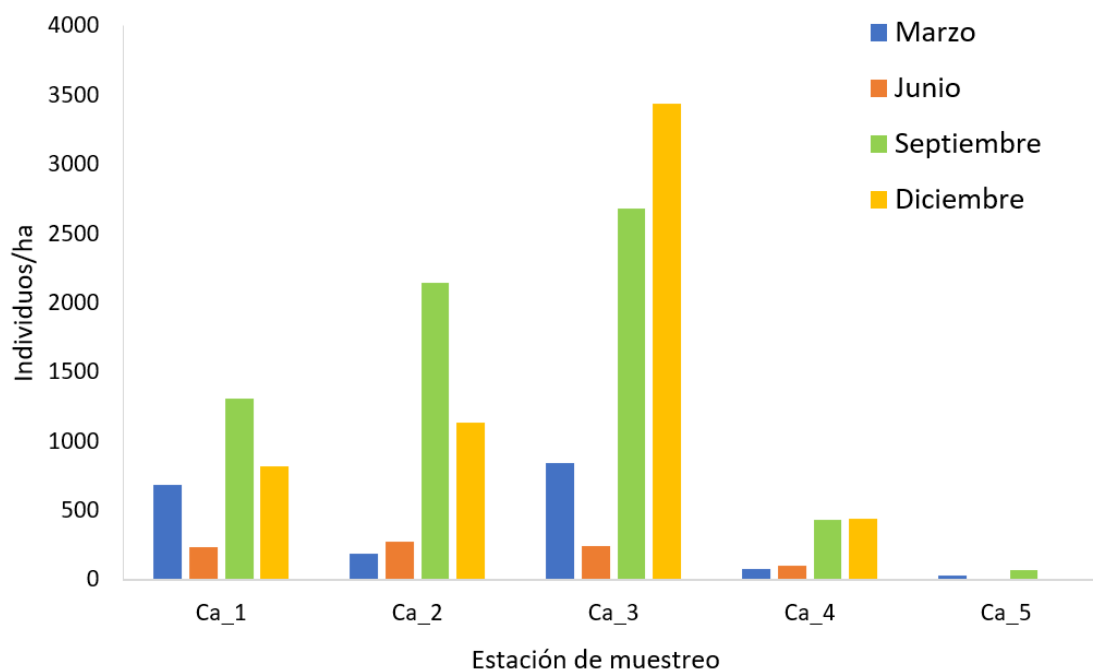


Figura 9.- Gráfico de densidades de trucha (individuos/ha) de cada estación de muestreo y campaña.

Analizando la evolución temporal conjunta de la población de truchas del río, se puede concluir que en el mes de junio se encontró menor densidad de media que en cualquier otro mes de 2020. Por el contrario, la mayor densidad de trucha se obtuvo en la campaña de septiembre. Lo que sorprende, ya que ambas campañas son consecutivas, destacando el aumento tan considerable que se produce entre el mes de junio y septiembre.

## Biomasa

Los valores de biomasa de trucha se exponen en el gráfico de la figura 10 para las cinco estaciones de muestreo en los cuatro inventarios realizados. Según la clasificación de un río ibérico medio, se clasifican las poblaciones según su biomasa en: escasa, media, abundante y excesiva. En el gráfico se indica mediante una línea discontinua el valor de 5 g/m<sup>2</sup> ya que este es el umbral entre una población escasa y una población media aludiendo a la biomasa. Las pautas de variación temporal son claramente diferentes en los tramos aguas arriba del embalse (valores máximos en septiembre) de las de aguas abajo (valores máximos en Diciembre-Marzo).

La población de trucha en las estaciones muestreadas en el mes de marzo es escasa en todas ellas salvo en Ca-3 que es media. Posiblemente, aguas arriba del embalse, es decir, las estaciones de Ca-1 y Ca-2, se vieron afectadas por la avenida que ocurrió en diciembre de 2019 (figura 5). El motivo por el que en la estación de Ca-5 los valores de biomasa son tan pequeños podría deberse a que en esa estación existen otras especies, diferentes a la trucha, con las que compiten por el espacio y sus recursos.

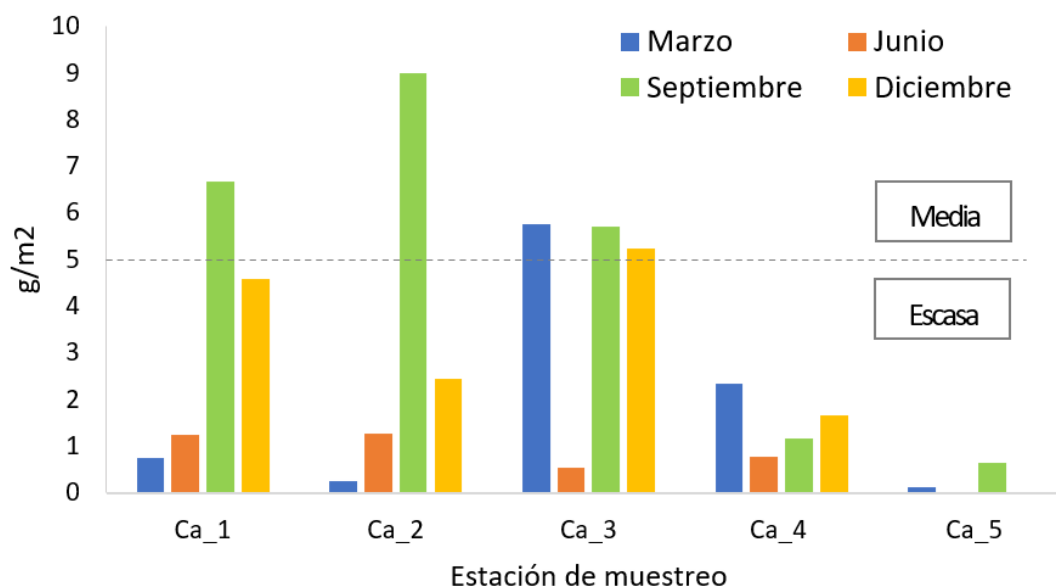


Figura 10.- Gráfico de la biomasa de trucha en los diferentes muestreos de 2020. Se marca el umbral entre una población escasa o media, 5 g/m<sup>2</sup>.

En junio, todas las estaciones de muestreo presentaron unos valores de biomasa de trucha muy bajos, aunque en comparación con marzo se ve un ligero aumento en las dos primeras estaciones. En cambio, en Ca-3 y Ca-4 se produce un descenso drástico de marzo a junio.

En septiembre, se obtuvieron valores de biomasa correspondientes a poblaciones medias salvo en las estaciones de Ca-4 y Ca-5, en las que la biomasa de trucha fue escasa. En este inventario se observa un aumento considerable de la biomasa en las estaciones de aguas arriba del Embalse del Portillo y en Ca-3, estación inmediatamente aguas abajo del embalse.

En el muestreo de diciembre, casi la totalidad de los valores de biomasa calculados fueron inferiores a los de septiembre, pero superiores a los de junio. Obteniéndose una población escasa en todas las estaciones salvo en Ca-3, que es media, de igual modo que en la campaña de marzo.

En las dos estaciones más aguas arriba, Ca-1 y Ca-2, se observa el mismo patrón en la biomasa a lo largo del año, aumentando hasta septiembre y disminuyendo en diciembre, aunque manteniéndose por encima de los valores iniciales de marzo y junio. Sin embargo, en la estación Ca-3, el máximo se produce en el mes de marzo, aunque este valor de 5,76 g/m<sup>2</sup> está muy próximo a los valores de septiembre y diciembre. En la estación Ca-4, se sigue manteniendo en marzo el mayor valor de biomasa, seguido de junio con su valor menor, e incrementándose progresivamente en las siguientes campañas de septiembre y diciembre.



## Las poblaciones de Ciprínidos y Cobítidos en Cortes de Baza

Además de la trucha, en el tramo bajo del río encontramos otras 6 especies en 2020, todas ellas son endemismos de la Península Ibérica. Estas especies son el cacho, el calandino, la boga, la colmilleja, el barbo y el gobio (endémico también del sur de Francia) y todas ellas se catalogan como “vulnerables” en Andalucía, salvo el barbo, cuyo estado de conservación es “preocupación menor”. El cacho y la boga son especies de captura sin muerte desde el 2009 (Orden de 21 de diciembre de 2009) y el barbo desde el 2014 (Orden de 6 de mayo de 2014).

### Densidad de ciprínidos y cobítidos

Para la estación de muestreo de Cortes de Baza, Ca-5, se presentan en la tabla 4 los valores de densidad para cada una de las especies encontradas en cada campaña.

En cada una de las campañas predomina una especie diferente en cuanto a densidad se refiere. En marzo, la especie que presenta mayor densidad es el gobio, en junio es el barbo y en septiembre y diciembre, la boga. De media, la especie más abundante en esta estación fue la boga, seguida por el barbo y el gobio, estas tres especies son las únicas presentes en todas las campañas de 2020. Por el contrario, la especie menos abundante de media en todas las estaciones fue la colmilleja, ya que solo aparecieron 3 ejemplares y únicamente en marzo. Igualmente, se capturaron 3 ejemplares de calandino, 2 en marzo y 1 en septiembre, siendo la segunda especie con menor densidad de media.

Tabla 4.- Densidades de las distintas especies encontradas en Ca-5 (ind./ha).

Especie	Marzo	Junio	Septiembre	Diciembre	Media
Barbo	190	699	519	300	427
Boga	158	217	699	667	435,3
Cacho	127	121	45	0	73,3
Calandino	32	0	23	0	13,8
Gobio	254	145	271	33	175,8
Colmilleja	48	0	0	0	12
Trucha	32	0	68	0	25
Total	840	1181	1625	1000	1161,5

Prestando atención a la evolución anual de las distintas especies se puede apreciar que no mantienen un patrón regular. En algunas, la densidad aumenta según van pasando los meses, como sería el caso de la boga, en otras va disminuyendo como es el caso del cacho, la densidad

del barbo aumenta en junio y vuelve a disminuir en septiembre y en otras especies como el gobio disminuye en junio y vuelve a aumentar en septiembre. En total, la campaña en la que se obtuvo un mayor valor de densidad fue septiembre, y la que menos, fue marzo.

### Biomasa de ciprínidos y cobítidos

En la tabla 5 se recogen todos los valores de biomasa de las distintas especies encontradas en esta estación de muestreo durante los cuatro inventarios.

*Tabla 5.- Biomasa (g/m<sup>2</sup>) por especie y campaña de Ca-5.*

<b>Especie</b>	<b>Marzo</b>	<b>Junio</b>	<b>Septiembre</b>	<b>Diciembre</b>
Trucha	0,13	-	0,65	-
Barbo	0,25	16,69	12,47	12,61
Boga	0,09	1,04	3,46	2,51
Cacho	0,09	0,08	0,04	-
Gobio	0,13	0,18	0,45	0,04
Calandino	NA	-	0,01	-
Colmilleja	NA	-	-	-
<b>Total</b>	<b>0,69</b>	<b>17,99</b>	<b>17,08</b>	<b>15,16</b>

Todos los valores de biomasa de marzo, corresponden a una población escasa, siendo la más alta la del barbo. Para el calandino y la colmilleja no se pueden ofrecer valores de biomasa, "NA", ya que en el muestreo de marzo no se pesaron los peces capturados y de estas especies no se puede estimar su peso por la falta de ejemplares. Además, para la colmilleja resulta imposible estimar su peso ya que solo se encontraron ejemplares en este muestreo. A su vez, el calandino, al haberse pescado únicamente 3 ejemplares, 2 de ellos en marzo, resulta igual de imposible estimar su peso. Por esto, a la suma total de la biomasa de marzo le faltaría añadir los valores del calandino y de la colmilleja, aunque se trate de valores pequeños.

Por el contrario, en las otras tres campañas, destaca considerablemente la biomasa de los barbos sobre las otras especies. Esto ocurre debido al gran tamaño de los ejemplares de barbo capturados, ya que, al comparar estos valores con los datos de densidad, la densidad del barbo no destaca tan drásticamente como la biomasa en comparación con otras especies como la boga, dicha especie incluso supera en septiembre y diciembre al barbo en los valores de densidad. En junio, la biomasa del barbo alcanza la categoría de abundante, con un valor de 16,69 g/m<sup>2</sup>, siendo este el valor máximo de biomasa de todas las especies en todos los inventarios realizados a lo largo del año 2020, representando el 92,8% de la biomasa de esta campaña.

En septiembre, aunque el barbo sigue manteniéndose como la especie que presenta mayor biomasa en Ca-5, su población pasa a catalogarse como media en lugar de abundante, con un valor de 12,47 g/m<sup>2</sup>, pasando a ser el 73% de la biomasa total de la campaña de septiembre.

El estado de la población de barbo se mantiene como medio en el muestreo de diciembre. Y al igual que en junio y septiembre, la boga es la especie que, aunque en bastante menor medida, ya que siempre se considera que sus poblaciones son escasas, es la especie que se encuentra en segundo lugar, tras el barbo, en cuanto a biomasa se refiere.

## Estructura en clases de edad de las poblaciones de trucha

La densidad por clases de edad se calcula únicamente para la trucha, debido a la imposibilidad de asignar clases de edad a los individuos de las distintas especies de Ca-5 por su insuficiente número de capturas.

### Asignación de edades

Con objeto de evaluar la estructura en clases de edad es necesario asignar edades a los ejemplares capturados en función de unos rangos de su longitud, según la campaña de la que se trate, se han realizado los cuatro gráficos de Petersen de la figura 11. Cada uno recoge, para cada campaña, las frecuencias de longitudes de las truchas en las cinco estaciones de muestreo. En los cuatro gráficos, se recoge la evolución de la población de trucha del río Castril como el conjunto de los inventarios realizados en las cinco estaciones de muestreo a lo largo del 2020.

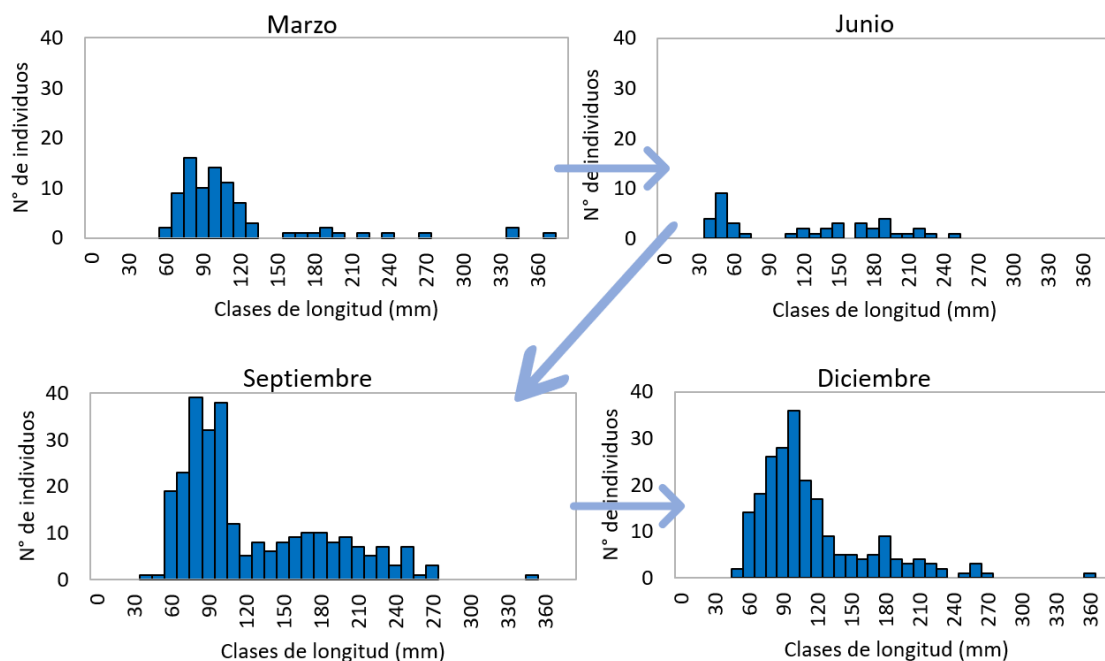


Figura 11.- : Frecuencia por talla de las truchas por campaña obtenidas en todas las estaciones juntas. A) Marzo; B) Junio; C) Septiembre; D) Diciembre

Al analizar esta agrupación de todas las estaciones de muestreo, podría haberse considerado que el Embalse del Portillo divide a las truchas del río Castril en dos subpoblaciones diferentes, ya que la presa las divide físicamente, con umbrales de clases de edad diferentes. Sin embargo, al dividir

la población en las estaciones aguas arriba, Ca-1 y Ca-2, y aguas abajo, Ca-3, Ca-4 y Ca-5, del embalse, y realizar los gráficos de Petersen pertinentes, se pudo determinar que los mismos intervalos de longitud considerando una única población de trucha en las cinco estaciones, también sirven para esta nueva distinción de dos subpoblaciones. Por esto, para facilitar los resultados y análisis de estos, se toma como correcta la asignación inicial de tomar todas las estaciones como una única población para la determinación de sus edades.

A partir de los gráficos de frecuencias asignamos las edades como se expone en la figura 12 determinando los rangos de longitud (mm) de las truchas para cada edad (años+) según la campaña en la que se capturasen.

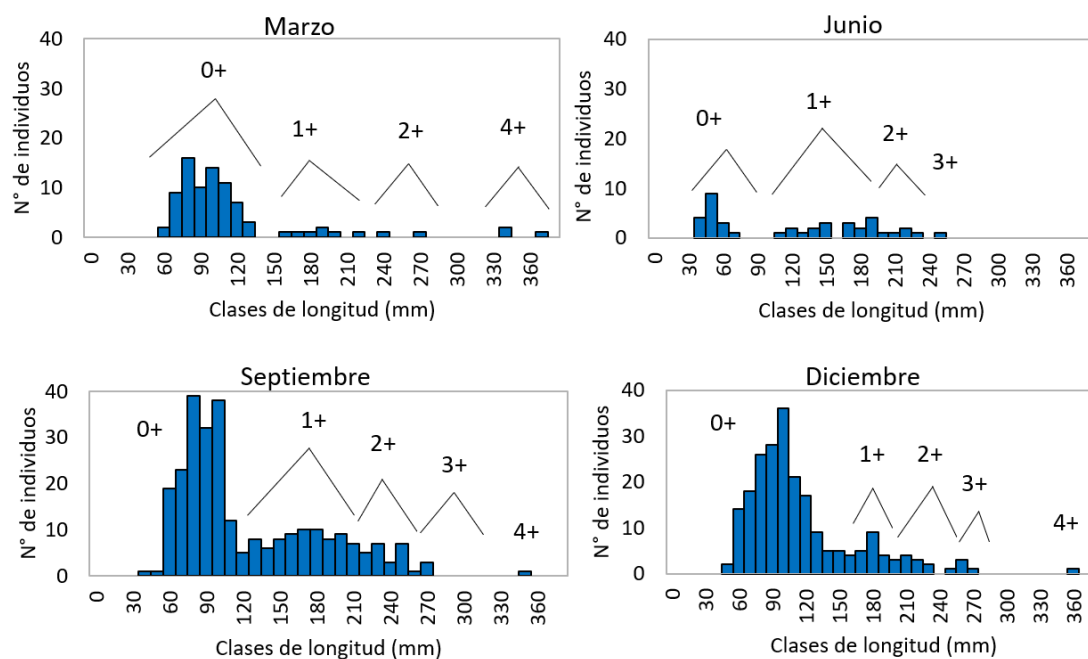


Figura 12.- Asignación de edades en función de la frecuencia por talla de las truchas obtenidas en todas las estaciones juntas. A) Marzo; B) Junio; C) Septiembre; D) Diciembre.

Considerando en la comparación de estos gráficos el transcurso de tiempo real que aconteció entre las campañas, se puede apreciar como en junio, septiembre y diciembre, la clase de longitud con mayor abundancia de los ejemplares de 0+ va aumentando progresivamente. Así, en junio esta se encontraría entorno a los 50 mm, en septiembre se produce en 80 mm y en diciembre en 100 mm.

### Estructura por densidad de clases de edad

En la tabla 6 se muestra la distribución de la densidad de trucha por clases de edad expresada en individuos por hectárea para cada estación de muestreo e inventario. No se encontraron ejemplares de todas las clases de edad en todas las estaciones ni campañas, en muchas de ellas faltan ejemplares de las clases mayores, 3+ y 4+.

Tabla 6.- Densidad (indv/ha) de trucha por clases de edad para las 4 campañas en las 5 estaciones de muestreo.

Estación	Clase de edad	Marzo	Junio	Septiembre	Diciembre
Ca-1	0+	665,7	-	428,8	441,2
	1+	20,8	239,2	755,4	242,7
	2+	-	-	122,5	88,2
	3+	-	-	-	44,1
Ca-2	0+	189,4	198,4	1579,6	1012,7
	1+	-	39,7	315,9	72,3
	2+	-	19,8	216,2	54,2
	3+	-	19,8	33,3	-
Ca-3	0+	733	157,3	2325,6	3184
	1+	46,8	69,9	290,7	188,7
	2+	31,2	17,5	32,3	23,6
	3+	-	-	16,2	23,6
	4+	31,2	-	16,2	23,6
Ca-4	0+	19,2	20,1	342,3	341,4
	1+	38,3	40,1	54,1	20,1
	2+	-	40,1	36	60,2
	3+	-	-	-	20,1
	4+	19,2	-	-	-
Ca-5	0+	15,8	-	-	-
	1+	15,8	-	22,6	-
	2+	-	-	45,1	-

Únicamente aparecen ejemplares de 4 años en las estaciones de muestreo aguas abajo del Embalse del Portillo, siendo Ca-3 la estación que cuenta con una mayor presencia de estos ejemplares. Además de en Ca-3, solo se capturaron ejemplares de esta edad en Ca-4 y únicamente en la campaña de marzo. Se deduce que los ejemplares de esta clase de edad que se encuentran aguas arriba de la presa se refugian en el embalse. La estación con más densidad de alevines fue Ca-3 en marzo, septiembre y diciembre; en junio fue Ca-2. La estación con menos, eludiendo Ca-5, es Ca-4, en todas las campañas.

### Factor de condición de Fulton 'K'

El factor de condición es un indicador del estado fisiológico del pez ( $w/l^3$ ), a mayor valor mejor estado. Se ha calculado el coeficiente mórfico de Fulton, K, para cada estación de muestreo en los

inventarios de junio, septiembre y diciembre, a falta del muestreo de marzo ya que no se pesaron los ejemplares capturados.

*Tabla 7.- Valores poblacionales del factor de condición de Fulton 'K', en los diferentes muestreos*

Estación	Especie	Junio	Septiembre	Diciembre
Ca-1	Trucha	1,285	1,325	1,238
Ca-2	Trucha	1,136	1,309	1,128
Ca-3	Trucha	0,980	1,184	1,141
Ca-4	Trucha	1,201	1,244	1,156
	Trucha	-	1,237	-
	Barbo	1,336	1,518	1,327
Ca-5	Boga	1,115	1,082	1,188
	Cacho	1,469	1,141	-
	Gobio	1,451	1,595	-

Podemos observar que la estación Ca-3 en Castril (inmediatamente debajo de la presa es la que tiene menores valores para todos los muestreos. Al comparar los distintos valores de K para la misma estación, se puede distinguir como este factor de condición aumenta en septiembre y vuelve a disminuir en diciembre. A excepción de la boga y el cacho en Ca-5, cuyo valor de K disminuye en septiembre. Es decir, las truchas que se capturaron en 2020 fueron más gruesas en septiembre que en junio y diciembre. Además, los ejemplares hallados en junio presentan un factor de condición de Fulton mayor que en diciembre, salvo en la estación Ca-3, que es superior en diciembre que en junio. Este aumento general de este factor en septiembre podría ser debido al peso de las gónadas en los individuos maduros. Por esto, vuelve a disminuir en diciembre, cuando los individuos ya han frezado, salvo en Ca-3 (debajo de la presa) que parece retrasarse la freza en consonancia con el retraso a Octubre de las temperaturas máximas anuales.

## Evolución temporal del río Castril: Análisis comparativo

### Cambios en el Régimen de Temperaturas

En la figura 13 se presentan las oscilaciones de temperatura del agua a lo largo de tres años, entre septiembre de 2002 y septiembre de 2005, en cuatro lugares distintos del río Castril. Estas mediciones fueron tomadas por Javier María Gortázar Rubial quien las utilizó para su Tesis Doctoral Reproducción y gestión del hábitat en poblaciones de salmónidos en el extremo meridional de sus distribuciones naturales de 2015. Aunque en el gráfico se aprecia que durante este periodo de tres años hay meses en los que faltan los valores de temperatura de alguno de estos lugares, se puede utilizar esta información igualmente para comparar las oscilaciones generales que se producen en las estaciones de muestreo de la parte alta del río Castril y de la estación Ca-3, situada inmediatamente aguas abajo de la presa. Además, uno de estos cuatro lugares no se corresponde con ninguna estación muestreada, se trata de un paraje muy cercano a los manantiales del nacimiento del río. Por esto, las temperaturas de este lugar, “Nacimiento”, son tan constantes a lo largo de todo el año (8,8-10,2 °C), porque la temperatura del agua se mantiene casi inalterable desde que emerge de las rocas hasta que llega a este primer paraje.

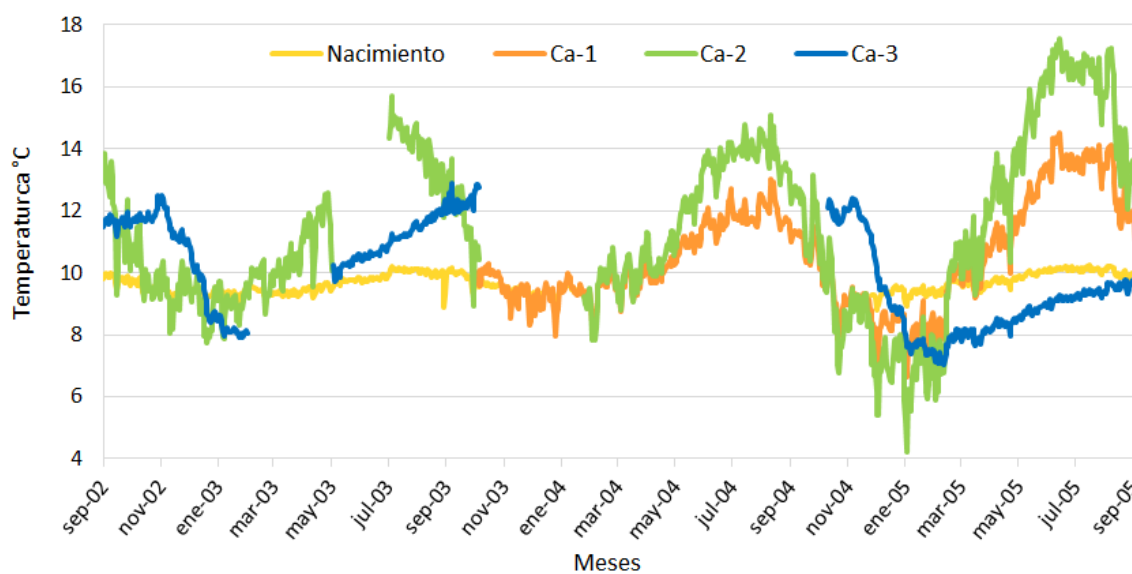


Figura 13.- Gráfico de las temperaturas en el nacimiento del río Castril, y en las estaciones Ca-1, Ca-2 y Ca-3 (datos Javier Gortazar).

Al seguir descendiendo el río se aprecia como la temperatura de las estaciones va oscilando cada vez más en comparación con la del nacimiento. En Ca-1 se comienza a distinguir un patrón anual de las temperaturas. En la siguiente estación, Ca-2, se advierte que las temperaturas máximas son mayores y las mínimas menores que en Ca-1, es decir, presentan un rango de variación mayor, pero mantienen el patrón que se distingue en Ca-1. Sin embargo, al observar la estación aguas abajo del embalse, Ca-3, se aprecia como su rango de fluctuación de temperaturas vuelve a acortarse, sus valores máximos y mínimos se asemejan a los de Ca-1. Por otra parte, se observa como las temperaturas de esta estación no siguen el patrón anual que definían las otras estaciones, entre marzo y septiembre de 2005, no sigue la dinámica normal del resto, que empiezan a aumentar hasta los 14 o 16°C, sino que se mantiene entre los 8 y 10°C. Esto podría

explicarse por la regulación del embalse. En estos mismos meses en 2003 también se observa un aumento diferente en esta estación al del nacimiento y al de Ca-2.

Para el tramo de Castril (Ca-3) se comparan con las temperaturas recogidas mediante el termógrafo instalado durante 2020 con las de los meses de marzo de 2020 a mayo de 2021 (ver figura 14). Los valores de temperaturas de 2020-21 son claramente superiores a los de 2002-05, entre 2 y 4°C, entre los meses de junio a octubre de 2003. Además de estos meses que se pueden comparar a simple vista en el gráfico, también se pueden contrastar las temperaturas de los meses de noviembre de 2004 a mayo de 2005. En diciembre de 2004 y enero de 2005 son bastante similares a los del año 2020-21, incluso los valores de 2004-05 llegan a superarlos. Sin embargo, en noviembre de 2004 y de febrero a mayo de 2005, son bastante superiores en 2020, entre 2 y 3°C. Se señalan los puntos en los que se realizaron los muestreos de este estudio.

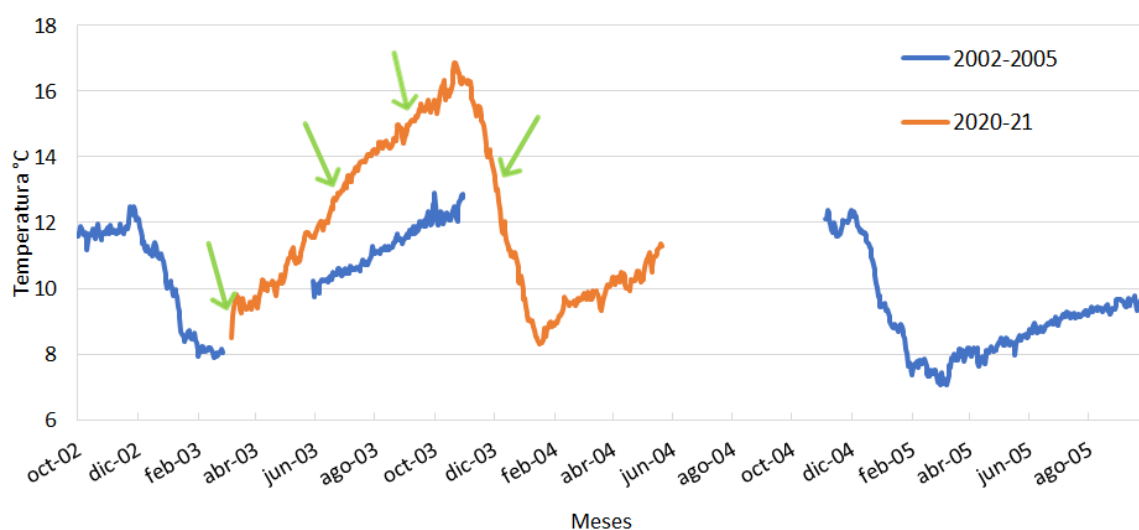


Figura 14.- Gráfico comparativo entre las temperaturas de los años 2002-2005 y 2020-21 en Ca-3. Las flechas señalan cuando se llevaron a cabo los muestreos de 2020.

## Cambios en la conductividad

En la figura 15 se expone la variación de la conductividad durante 2001 y en 2020. Los valores de conductividad durante 2020 muestran una gran uniformidad temporal con un claro patrón espacial de aumento en los tramos más bajos. Por el contrario, los valores de 2001 son muy variables y no siguen ningún patrón. En este año pasan de valores de conductividad de los 200 a los 900  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para una misma estación, Ca-3, o de los 600 a los 1100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , en Ca-5. Mientras que en 2020 los valores se encuentran entre los 300  $\mu\text{S}/\text{cm}$  para todas las estaciones salvo para Ca-5, que sube a 400-500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



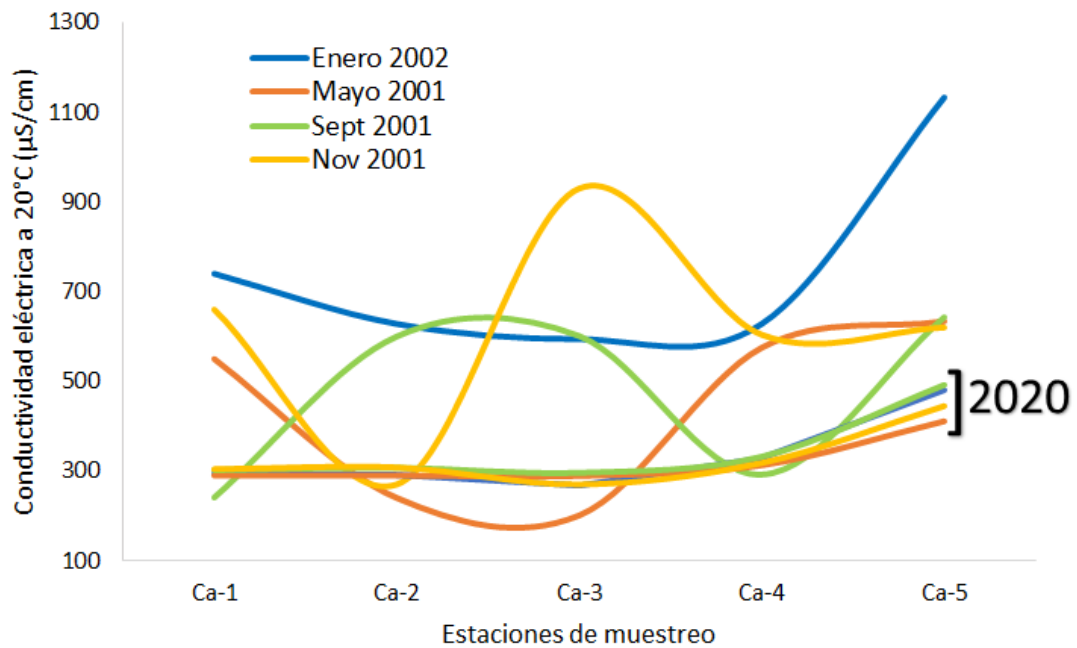


Figura 15.- Valores de conductividad ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) para las estaciones de muestreo en 2001 y 2020.

### Cambios en el Régimen de Caudales

En los gráficos de la figura 16 se recogen los caudales de entrada y salida del Embalse del Portillo desde abril, de 2001 y 2020, a diciembre, de 2002 y 2021. En 2001-02, no ocurre ninguna avenida tan fuerte como las de 2020-21, pero sí sucedieron algunas en este periodo, en diciembre de 2001, y de abril hasta mayo de 2002. Además, en julio de 2002 hubo un aumento repentino de los caudales. Por último, en noviembre de 2002 ocurrió la avenida más intensa de este periodo, aunque sin llegar a superar las acontecidas en 2020-21. Sin embargo, en términos de caudales medios anuales, pese a estar en una tendencia general a disminuir (ver figura 32), los caudales de 2001 y 2002 (1,29 y 2,35  $\text{m}^3/\text{s}$ ) fueron inferiores a los del 2019 y 2020 (2,71 y 3,18  $\text{m}^3/\text{s}$ ).

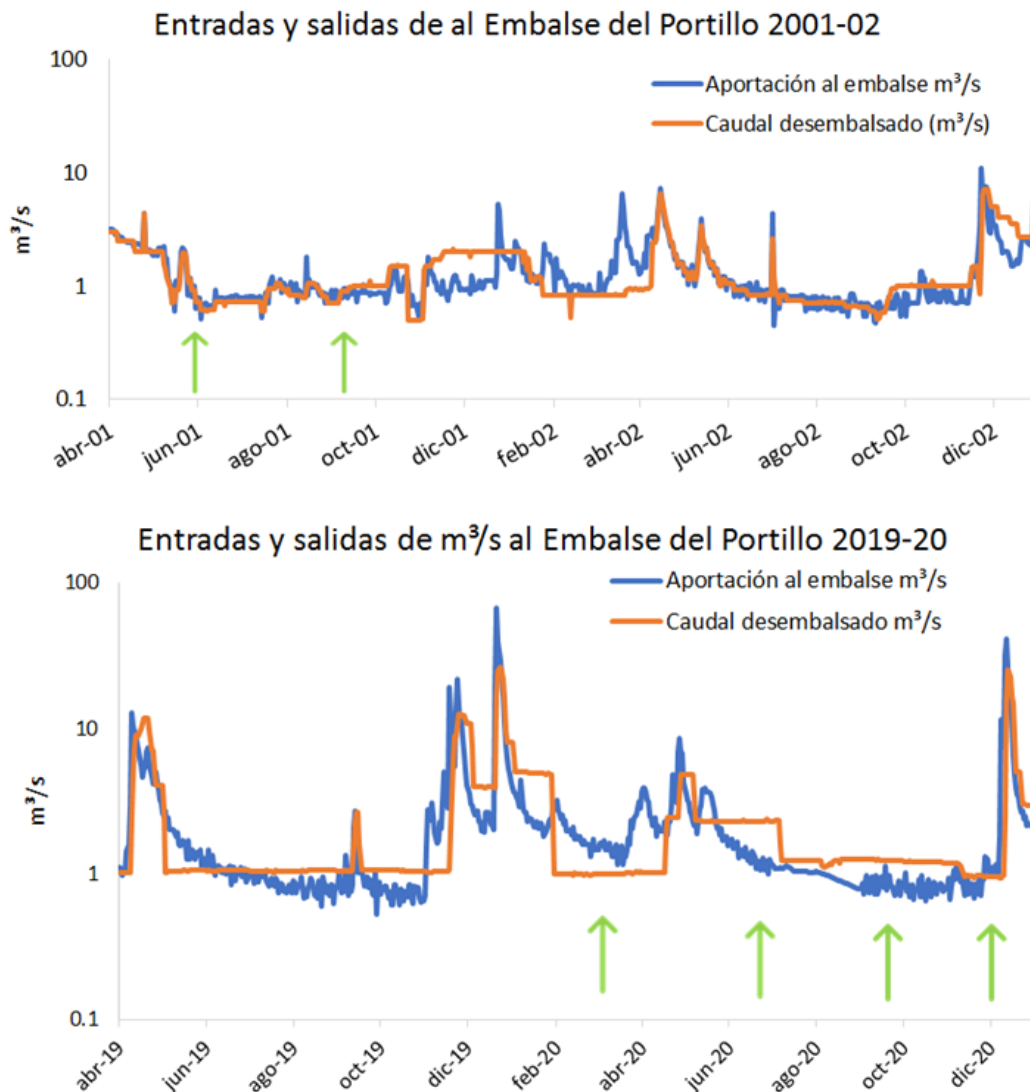


Figura 16.- Gráficos de las entradas y salidas de  $m^3/s$  al Embalse del Portillo desde abril de 2001 a diciembre de 2002 de abril 2019 a Diciembre de 2020. Se señala cuando se llevaron a cabo los muestreos.

Al tratarse de una cuenca en clima mediterráneo, con una geología kárstica y por tanto con una escorrentía principalmente subterránea, el río Castril cuenta con un flujo impredecible, ya que generalmente se producen dos períodos de caudales abundantes, uno en primavera y otro en invierno, pero también hay años muy secos. Puede haber años en los que sucedan dos o tres picos en el caudal, que también pueden ocurrir en verano u otoño (Gortázar 2015).

En dicha figura se señalan los dos muestreos de peces que se realizaron en el estudio de 2001, justo antes del primero se observa un aumento moderado en los caudales. También, se señalan los cuatro muestreos llevados a cabo en el año 2020. El muestreo de marzo se realizó algo más de dos meses después de una avenida muy intensa. Al estudiar los caudales de los últimos 11 años, no se observa ninguna avenida tan fuerte como esta. Puede ser que afectara a las poblaciones del río Castril, sobre todo de las estaciones aguas arriba, que no cuentan con la regulación del embalse. Al comparar las medias de los caudales de entrada y de salida de ambos años, se observa como las salidas de un año son prácticamente exactas a las entradas, diferenciándose en ambos periodos en  $0,01 m^3/s$ . Sin embargo, la media diaria de los caudales de 2001 fue  $1,07 m^3/s$  inferior a la media diaria de 2019-20, se pasa de  $1,37$  a  $2,45 m^3/s$ , es decir que de media ha aumentado el caudal, aunque esto puede deberse a los picos de las avenidas.

## Cambios en las poblacionales de macroinvertebrados

Hemos comparado las comunidades de macroinvertebrados que muestreamos en 2020 con los datos del informe de Alba et al (2002) con objeto de identificar los posibles cambios. Esta comparación la hemos realizado en términos anuales, por lo que hemos sumado las abundancias de cada uno de los muestreos estacionales.

La composición de dichas comunidades atendiendo a las abundancias de cada taxón se expone en la tabla 8. Vemos que existen 27 taxa capturadas en 2002 que desaparecen en 2020, como son *Centroptilum*, *Cloeon*, *Procloeon*, *Pseudocentroptilum*, *Serratella*, *Ephemera dánica*, *Cordulegaster*, *Hydrometra stagnorum*, *Naucoris maculatus*, *Nepa cinérea*, *Notonecta maculata*, *Velia*, *Dryops*, *Pomatinus*, *Deronectes*, *Hydroporus*, *Nebrioporus*, *Stictototarsus*, *Aulonogyrus striatus*, *Gyrinus dejeani*, *Haliphus lineatocolis*, *Octhebius*, *Hydropsyche pellucidula*, *Mystacides azurea*, *Rhyacophila pascoei*, *Atrichops* y *Psychodidae*. Por el contrario, 13 taxa se capturaron en el muestreo de 2020 que no se habían capturado anteriormente: *Planaria*, *Tubificidae*, *Bithynia*, *Stagnicola*, *Galba truncatula*, *Psidium*, *Asellidae*, *Acentrella sinaica*, *Torleya nazarita*, *Onychogomphus uncatatus*, *Protonemura meyeri*, *Agapetus*, *Anomalopeterygella chauviniana*, *Rhyacophila obliterata*, *Tanytarsini*, *Orthoclaudiinae*, *Tanypodinae*, *Atheryx* y *Limnophora*.

Sin llegar a desaparecer algunas especies han reducido claramente sus abundancias (*Chironomidae*, *Baetis*, *Lumbricidae*, *Simuliidae*, *Hydropsyche incógnita*, *Lasiocephala basalis*, *Limoniidae*, *Hydracarina*, *Liponeura*, *Oreodytes*, *Gammarus*, *Hydroptilia*, *Tipulidae*, *Allogamus ligonifer*, *Tabanidae*, *Culicidae*, *Leuctra maroccana*, *Caenis*), mientras otras las aumentaron (*Micrasema gr. moestum*, *Oligoneuriella marichuae*, *Elmis maugetii maugetii*, *Hydropsyche instabilis*, *Ephemerella*, *Ecdyonurus gr. ruffi-wautieri*, *Perla*, *Dinocras cephalotes*, *Esolus*, *Limnius*, *Mesophylax aspersus*, *Epeorus*, *Hydropsyche exocellata*, *Polycentropus*, *Rhyacophila meridionalis*, *Rhithrogena*, *Potamopyrgus antipodarum*)

La síntesis de los cambios ocurridos en las comunidades de macroinvertebrados durante los 19 años transcurridos en términos de abundancia de individuos, riqueza taxonómica, diversidad y equitabilidad se exponen en la figura 17.

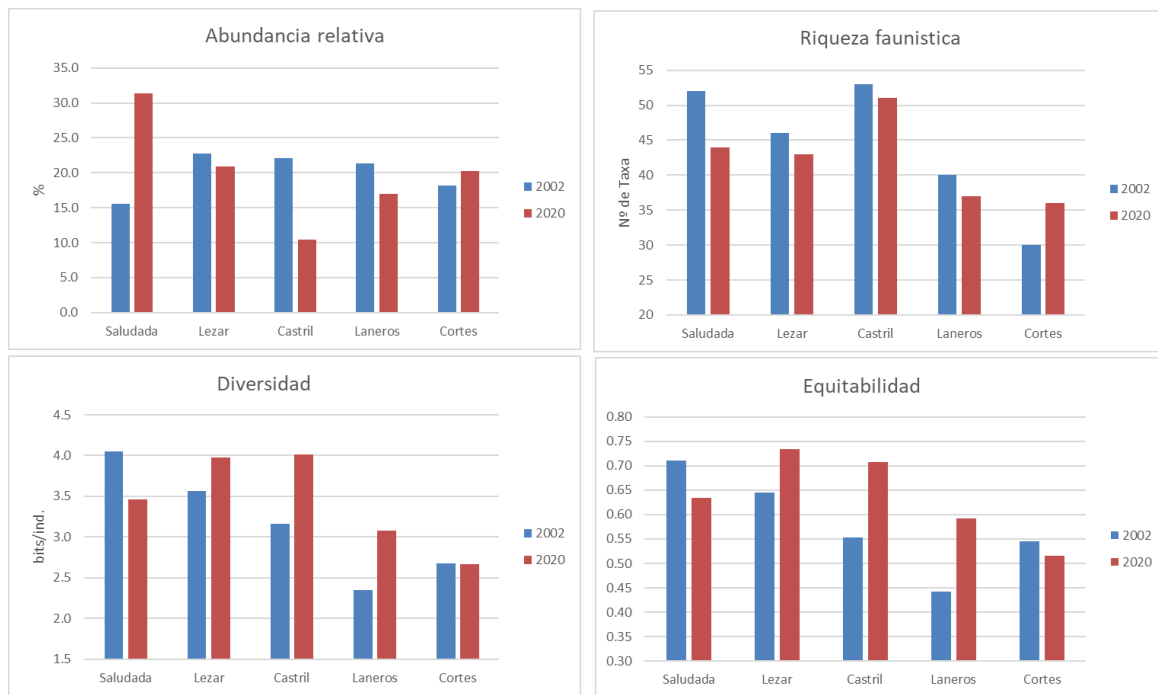


Figura 17.- Comparación de las características de las comunidades de macroinvertebrados muestreadas en 2002 con las muestreadas en este estudio, en términos de abundancia, riqueza, diversidad (Shannon) y equitabilidad.

Las abundancias de la comunidad en Saludada han aumentado significativamente en 2020, mientras que en el Castril se ha reducido grandemente, no siendo importantes los cambios en las restantes estaciones. La riqueza faunística disminuye en todas las estaciones del río, salvo en Cortes de Baza que aumentó. Observamos los valores máximos de riqueza en Castril y Saludada, mientras que los mínimos corresponden a Cortes. La complejidad de la comunidad, medido por la diversidad de Shannon disminuye en el tramo mas alto (Saludada) y aumenta en Lezar, Castril y Laneros, mientras que en Cortes no cambia. La diversidad es siempre mayor en los tramos altos (Saludada, Lezar y Castril) que los bajos (Laneros y Cortes). La equidad de las comunidades sigue las mismas pautas de cambio que la de su diversidad y la opuesta a la de sus abundancias.

Tabla 8.- Comparativa de Composición y abundancia de las comunidades de macroinvertebrados entre 2002 y 2020.

Clase/Orden	Familia/Especie	2002					2020					
		Saludada	Lezar	Castril	Laneros	Cortes	Saludada	Lezar	Castril	Laneros	Cortes	
Planaria	Planaria						2					
	Lumbricidae	18	26	38	2	117	2		14	1	4	
Oligochaeta	Tubificidae						7	1	13		3	
	Erpobdellidae	1	4	5			8	6				
Hirudinea	Glossiphoniidae			2					1			
	Bithynia										2	
Gasteropoda	Ancylus fluviatilis	1		1			1	2	7			
	Potamopyrgus antipodarum			23	1			1	97	2	2	
	Radix sp.			4					2			
	Physa sp.			6	1	4			19		5	
	Gyraulus sp.					1			2			
	Sphaeriidae			4					2			
	Stagnicola								2		5	
	Galba truncatula								37	2	7	
	Bivalvia	Psidium							3			
	Hydracarina	Hydracarina	4	5	7	5	11		2	1		
Anfipoda	Gammarus sp.	21					3		1			
Isopoda	Asellidae								1			
	Acentrella sinaica						644	126	46	348	611	
Ephemeroptera	Baetis sp.	181	222	206	343	297	375	663	26	382	663	
	Centroptilum	2	8	1								
	Cloeon			20								
	Procloon			8								
	Pseudocentroptilum		4									
	Caenis sp.		5	5	10	19		2	9	46	21	
	Tarleya nazarita									22		
	Ephemerella sp.	10	6	4			134	174	4	35	5	
	Serratella	7	3	35	13	11						
	Ephemerella danica	2	2									
	Ecdyonurus gr. ruffi-wautieri	10	23	2	15	4	36	129	16	174	2	
	Epeorus sp.	8	11				99	11				
	Rithrogena sp.	10	28	2	1		137	16		1		
	Habrophlebia elidae			3			1	1	7			
	Oligoneuriella marichuae			3	14	4			2	836	14	
	Boyeria irene			1	4					5	5	
	Odonata	Cordulegaster	1	2								
		Onychogomphus uncutus										1
		Calopteryx				2						2
	Plecoptera	Leuctra maroccana	11	16				8	39			
Nemoura sp.		5							4			
Protonemura meyeri							2		1			
Dinocras cephalotes		26	50	23		1	154	239	3	22		
Heteroptera	Perla sp.	5	2				192	27	1	2		
	Micronecta scholtzi		1	1		2		46				
	Aquarius najas	2	3	1	4	4	1	52		3	8	
	Hydrometra stagnorum	1										
	Naucoris maculatus				1							
	Nepa cinerea					1						
	Notonecta maculata			1								
	Microvelia pigmea				1		1	2				
	Velia sp.	2										
	Coleoptera	Dryops				1	1					
Pomatitinus			2	1	3							
Agabus		1		5		2			3			
Deronectes					1							
Hydroporus		1	4	1								
Nebriporus		1		10	1	3						
Oreodytes sp.		16	7	4			1	3	3	3		
Stictotarsus		4		1	1							
Oreochilus villosus		1	2		17	6		2	32	1	21	
Aulonogyrus striatus					3	2						
Gyrinus dejeani		1				1						
Elmis maugetii maugetii		9	37	3	1		15	255	396	81	41	
Esolus sp.		4	5				29	5	75	17	7	
Limnius sp.		18	7				14	90	43	3	11	
Normandia sp.			1		2	1	3	2				
Oulimnius sp.			6								1	
Hydraena sp.		1					12					
Hydrophilidae				1							6	
Halplus lineatocolis		1	27		1							
Trichoptera	Octhebius	3										
	Micrasema gr. maestum	35	45				1315	165	57		1	
	Agapetus sp.								17			
	Hydropsyche exocellata					49					185	
	Hydropsyche incognita	5	38	7	23	7					48	
	Hydropsyche instabilis	30	18	19	5		415	225	191	8		
	Hydropsyche pellucidula	2		6	4							
	Hydroptilia sp.		16			4					6	
	Lasiocephala basalis	47	48				2	81	22			
	Mystacides azurea			6								
	Anomalopterygella chauviniana						18					
	Allagamus ligonifer		11	5					7			
	Mesophylax aspersus		1				77		8			
	Polycentropus sp.			8					74	2		
	Metalype fragilis	1	2					45				
	Rhyacophila munda				1				5	7		
	Rhyacophila nevada	11	10	7	2		1	37	12	27	25	
	Rhyacophila meridionalis	2					23	32	2			
	Rhyacophila obliterated						3					
	Rhyacophila pascoei			1	1							
Sericostoma sp.	31	42				141	36	1	2			
Diptera	Liponeura sp.	18	3	2	9	7	21	8	4	6	1	
	Chironomidae	196	450	565	568	352	321	237	98	141	914	
	Tanytarsini						5	25	17	2	28	
	Orthoclaidiinae						12	15	25	7	8	
	Tanypodinae						2	3	5	2		
	Simuliidae	44	33	43	55	52	29	22	8	68	145	
	Tipulidae			5	6	6				3	2	
	Culicidae		1	12			2		2			
	Dixidae	2			4			1			2	
	Empididae	1		4	2			2	1		2	
	Limoniidae	5	18	6	13	5	3	14		3		
	Liponeura sp.	7	1				3					
	Atherix sp.										2	
	Atrichops				1	1						
	Tabanidae	1	3	7	3			1		3		
	Psychodidae	3	2	2								
	Stratiomyidae	3		1	1		11	3			1	
	Limnophora										2	

## Cambios en las Poblacionales de Peces

En el estudio coordinado por Alba-Tercedor (2002), Asistencia técnica para la valoración, seguimiento y protección de poblaciones faunísticas del río Castril, de 2001-02 de la Universidad de Granada, se realizaron dos muestreos de peces que se llevaron a cabo en mayo-junio y en septiembre del 2001. Es decir, se pueden comparar dos de las cuatro campañas que se llevaron a cabo durante el 2020, las realizadas en junio y en septiembre.

### **Cambios en la composición de las comunidades piscícolas**

La composición de la comunidad ha cambiado grandemente en las dos estaciones mas bajas. Efectivamente, la trucha que estaba ausente en estas estaciones las ha colonizado. En los Laneros la trucha se ha quedado como única especie, eliminando a las poblaciones de barbo que allí existían. Por el contrario, en Cortes de Baza, la presencia de trucha es minoritaria y se restringe a las condiciones invernales con aguas mas frías. En Cortes de Baza siguen dominando las poblaciones de boga y sobre todo de barbo, pero, además, se han detectado poblaciones de cacho, gobio, calandino y colmilleja que en los muestreos de 2001 no se habían capturado. Por el contrario, en las estaciones Ca-1, Ca-2, y Ca-3 no ha habido cambios y, únicamente se encontraron truchas tanto en el estudio del 2001 como en el de 2020.

### **Cambios en Densidad**

#### Densidad de las poblaciones de trucha

Para la densidad de trucha únicamente se pueden comparar las estaciones de muestreo Ca-1, Ca-2 y Ca-3, ya que en las demás no se encontraron truchas en el 2001. En el gráfico de la figura 18 se muestran las densidades de trucha en los meses de junio y septiembre para los estudios de 2001 y 2020.

Los valores de densidad en junio y septiembre de 2001 son considerablemente mayores que en 2020, salvo en septiembre en Ca-3, en esta estación fue casi dos veces mayor la densidad de trucha en septiembre de 2020 que en septiembre de 2001.

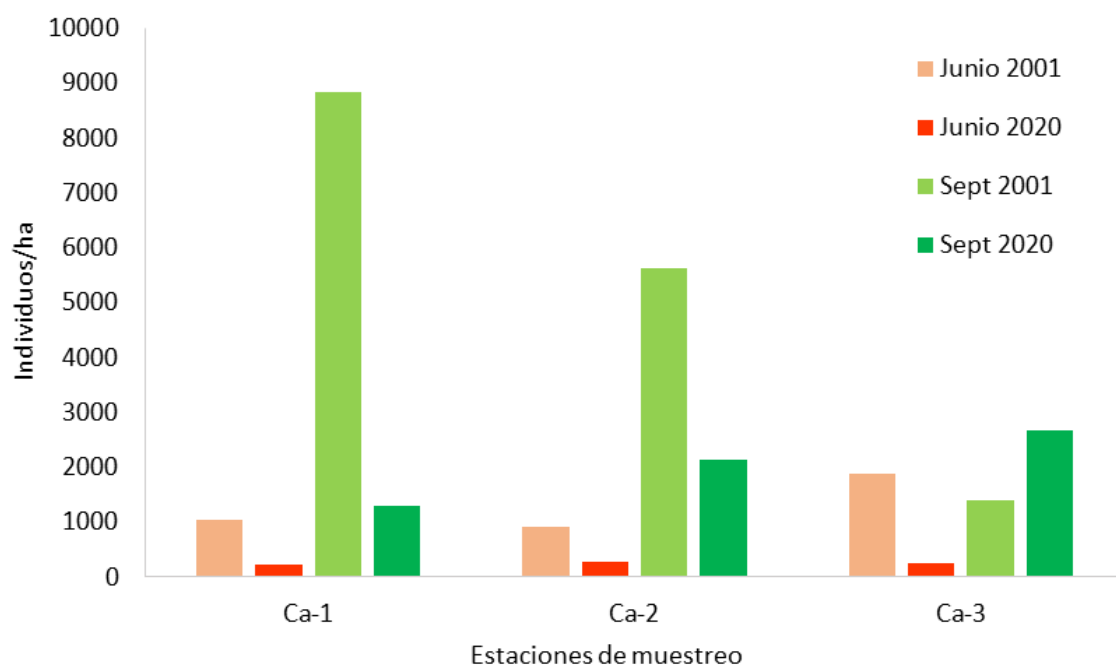


Figura 18.- Gráfico comparativo entre la densidad de trucha de junio y septiembre del 2001 y del 2020 en las 3 estaciones de muestreo que presentaron trucha en ambos estudios.

En el estudio de 2020, septiembre cuenta con valores de densidad mayores que en junio en todas las estaciones. Esto también ocurre en el estudio del 2001, salvo en Ca-3, donde junio presenta un valor mayor que septiembre.

Analizando las dos medias anuales, de 3288 indiv/ha en 2001 y 1149 indiv/ha en 2020, se puede determinar que la densidad de trucha en estas tres estaciones de muestreo y estas dos campañas fue casi tres veces mayor en el estudio del 2001. Observando las medias mensuales, se aprecia como septiembre destaca por sus altos valores de densidad en comparación con junio en ambos años. Larios et al. (2020) analizan este tipo variaciones con especial incidencia en las poblaciones de trucha en el límite de su distribución.

### Densidad de Ciprínidos en Cortes de Baza

En la tabla 9 se muestran los valores de densidad de las especies encontradas en ambos estudios en Ca-5. Únicamente se comparan los valores de septiembre debido a que en el estudio del 2001 solo se encuentran valores para este mes en Ca-5. Además, solo se pueden comparar las densidades de barbo y boga ya que las otras especies encontradas en los muestreos de 2020 no se capturaron en 2001. En ambas especies se observa una disminución drástica de su densidad entre ambos estudios. En el caso del barbo solo queda el 9,8% de la densidad que presentaba en 2001 y en el caso de la boga un 23%. Esto podría asociarse a la presencia de distintas especies en 2020, como el gobio, el cacho, la trucha, el calandino o la colmilleja.

Tabla 9.- Comparación de la densidad (indv./ha) de barbo y boga en Ca-5 en 2001 y 2020.

Especie	Septiembre 2001	Septiembre 2020
Barbo	5250	519
Boga	3030	699

## Cambios de Biomasa

### Biomasa de las poblaciones de trucha

Para contrastar los valores de biomasa de trucha, el gráfico de la figura 19 expone los valores de las estaciones Ca-1, Ca-2 y Ca-3 para las campañas de junio y septiembre de 2001 y de 2020, al igual que se hizo con los valores de densidad de la trucha. Al comparar los valores de biomasa de trucha de 2020 con los del 2001 se ve como en junio del 2001 hubo más biomasa que en 2020 en todas las estaciones. Sin embargo, en septiembre fue superior en 2020 en todas ellas salvo en Ca-2. De media fue superior la biomasa hallada en 2001, sin embargo, el valor de biomasa medio mensual más alto corresponde al mes de septiembre de 2020.

Como se puede apreciar, la diferencia entre los valores de biomasa en junio de 2001 y junio de 2020 es mucho más grande que la existe entre los inventarios de septiembre, ya que en septiembre de 2020 se obtuvieron valores más próximos a los obtenidos en 2001, superándolos en las estaciones Ca-1 y Ca-3.

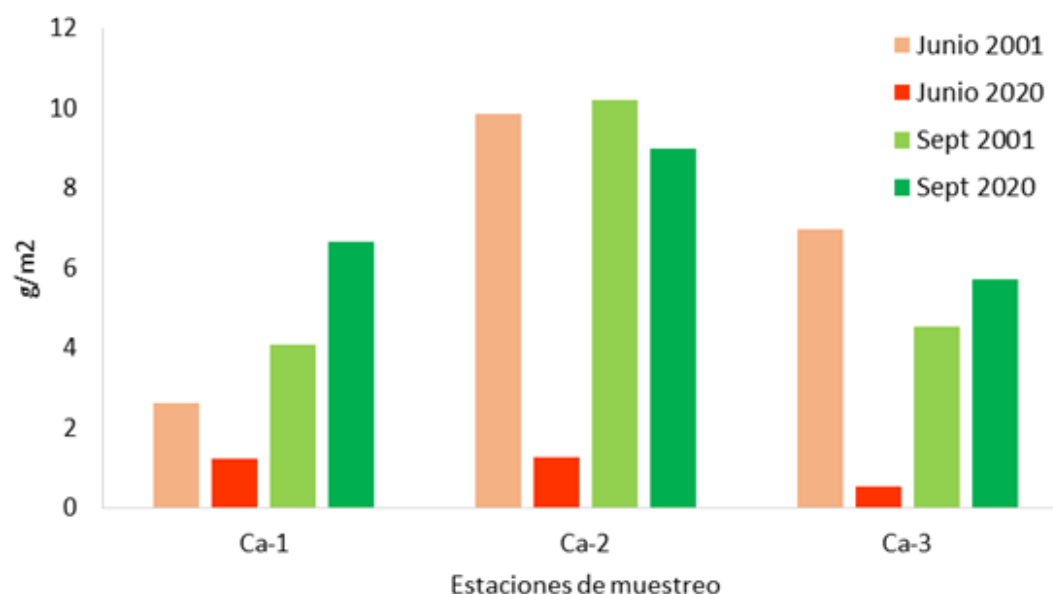


Figura 19.- Gráfico comparativo entre la biomasa de trucha de junio y septiembre del 2001 y del 2020 en las 3 estaciones de muestreo que presentaron trucha en ambos estudios.



## Biomasa de ciprínidos en Cortes de Baza

En la tabla 10 se presentan los valores de biomasa de las especies encontradas en Ca-5 tanto en 2001 como en 2020. Solo se comparan los valores de septiembre porque al igual que para los valores de densidad, en el informe de 2001 solo se presentan estos datos. Se puede ver un gran descenso en la biomasa de barbo, y un aumento de la biomasa de boga entre los distintos muestreos.

*Tabla 10.- Comparación de la biomasa (g/m<sup>2</sup>) de barbo y boga en Ca-5 en septiembre de 2001 y 2020.*

Especie	Septiembre 2001	Septiembre 2020
Barbo	46,54	12,47
Boga	0,91	3,46

Aunque en septiembre de 2020 se capturaron cuatro especies más, la trucha, el gobio, el cacho y el calandino, únicamente se puede comparar los valores de biomasa de estas especies ya que fueron las que se capturaron en 2001.

Comparando los datos de existencias piscícolas obtenidos en estos dos muestreos podemos cuantificar los cambios ocurridos en las comunidades de peces del río Castril durante estos 19 años. Vemos que las abundancias de peces se han reducido en todas las estaciones en ambos parámetros (densidad y biomasa). Estas reducciones suponen de forma general una disminución del 80% en las estaciones de La Saludada, Lezar y Cortes de Baza, y del 40% en las de Castril y Los Llaneros.

## **Cambios en las poblaciones de ciprínidos y cobítidos en el tramo bajo**

Comparando cómo se distribuyen las diferentes especies en el tramo bajo del río, entre Ca-4 y Ca-5, se determinan una serie de cambios en la composición piscícola de estas estaciones. La distribución del barbo se ha modificado desde el año 2001 al 2020, ya que entonces se observaron ejemplares en Ca-4 y Ca-5. En el año 2001 era la única especie hallada en Ca-4, en el 2008 en esta estación se encontró tanto barbo como trucha y en los muestreos de 2020 solo se captura trucha, ya que los barbos únicamente se encuentran en Ca-5. Además, en el estudio de ACPES de 2008 se menciona la presencia de azudes entre estas localidades, lo cual indica que los barbos que se encontraban en Ca-4 habían llegado antes de la construcción de estos azudes. Por ello, esta reducción en el tramo de río en el que habita el barbo podría explicarse por la construcción de estos azudes ya que tras su desaparición de Ca-4 no pueden volver a acceder a dicho tramo.

En el proyecto de ACPES de 2008, se sospecha de la presencia de colmilleja en el tramo bajo del río Castril, ya que es una especie difícilmente detectable y nunca había sido encontrada en el río Castril. Mediante este estudio, se puede asegurar la presencia de esta especie en el tramo bajo del río, en la estación Ca-5, ya que en el muestreo de marzo de 2020 se obtuvieron 3 individuos de esta especie. Además de esta especie, también se puede asegurar la presencia de calandino, que se encontró en los muestreos de marzo y septiembre de 2020, aunque en muy baja

proporción, 3 ejemplares entre ambos muestreos. Así como el gobio, que tampoco había sido muestreado en los estudios mencionados anteriormente (2001 y 2008). Por otra parte, la primera vez que se tiene constancia de la presencia de cacho en este río ocurre en 2008 (ACPES).

Por esto, se considera que actualmente se cuenta con 5 endemismos de la Península Ibérica en el tramo bajo del río Castril a los que se les debería proporcionar ciertas consideraciones para su conservación, aunque actualmente la mayoría son especies de captura y suelta, salvo el calandino y la colmilleja.

## Estado Ecológico de las masas de agua

Con objeto de su gestión y evaluación del estado ecológico, la Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir, según su Plan Hidrológico, el río Castril aguas arriba de la presa del Portillo constituye la masa de agua de la categoría río con el código ES050MSPF011012036 y se asigna a la tipología fluvial R-T12 - RÍOS DE MONTAÑA MEDITERRÁNEA CALCÁREA, mientras que el tramo de abajo de la presa del Portillo corresponde a la masa de agua de la categoría río con el código ES050MSPF011100107 asignado al tipo R-T09 - RÍOS MINERALIZADOS DE BAJA MONTAÑA MEDITERRÁNEA.

En este trabajo hemos evaluado el estado ecológico de estas masas de agua del río Castril a través de los dos elementos biológicos que hemos estudiado en este trabajo y están incorporados en las metodologías que propone la Directiva Marco del Agua: comunidades de macroinvertebrados y las de peces.

## Peces

El reino de España no ha sido capaz de diseñar y consensuar una metodología de evaluación del Estado Ecológico basada en los peces. Afortunadamente, contamos con el European Fish Index (EFI+) que es un método basado en peces para evaluar el estado ecológico de las aguas corrientes europeas en apoyo de la Directiva marco del agua. El proyecto EFI+ fue financiado por la Comisión Europea (CE) bajo el 6º Programa Marco, “Energía, Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible” y realizado por un equipo de ictiólogos y basado en datos de toda Europa por lo que no EFI+ no necesita convalidación. Se ha aplicado el software específico desarrollado por este proyecto que incluye las condiciones de referencia de las diferentes tipologías de ríos europeos (Solana et al. 2009). Este método EFI+ sólo ha sido aplicado en España para la estimación del Estado ecológico, hasta la fecha, por la Confederación Hidrográfica del Duero en su último borrador de plan hidrológico.

Los resultados de la aplicación a los muestreos de peces realizados en el río Castril, tanto en el 2001 como en el 2020, se exponen en la tabla 11A. Estos resultados incluyen tanto los valores numéricos del Fish Index como su calificación de estado ecológico correspondiente. Haciendo media con los muestreos de cada estación vemos que el estado ecológico se mantiene en todas las estaciones, salvo en la última (Ca-5) que baja de buena a moderada. Ca-1, Ca-3 y Ca-4 tienen un estado bueno; Ca-2 un estado muy bueno.

Tabla 11A.- Resultados de la aplicación del EFI+ a los muestreos de peces del 2001 y del 2020. Se expone le valor del Fish Index y su estado ecológico correspondiente.

Tramo	Estación	Año	Mes	Fish Index	Estado Ecológico
Saludada	CA-1	2001	Sept.	0.93	Muy Bueno
			Junio	0.87	Bueno
		2020	Marzo	0.93	Muy Bueno
			Junio	0.83	Bueno
			Sept.	0.84	Bueno
			Dic.	0.83	Bueno
Lezar	CA-2	2001	Sept.	0.93	Muy Bueno
			Junio	0.91	Muy Bueno
		2020	Marzo	0.95	Muy Bueno
			Junio	0.89	Bueno
			Sept.	0.92	Muy Bueno
			Dic.	0.94	Muy Bueno
Castril	CA-3	2001	Sept.	0.85	Bueno
			Mayo	0.84	Bueno
		2020	Marzo	0.84	Bueno
			Junio	0.84	Bueno
			Sept.	0.86	Bueno
			Nov.	0.85	Bueno
Laneros	CA-4	2001	Sept.	0.87	Bueno
			Mayo	0.87	Bueno
		2020	Marzo	0.86	Bueno
			Junio	0.86	Bueno
			Sept.	0.88	Bueno
			Nov.	0.86	Bueno
Cortes de Baza	CA-5	2002	Ener.	0.88	Bueno
		2020	Marzo	0.65	Moderado
			Junio	0.74	Bueno
			Sept.	0.35	Malo
			Nov.	0.81	Bueno

### Macroinvertebrados

A partir de los resultados de los muestreos de macroinvertebrados de 2020 se ha aplicado el índice de IBMWP que según el Real Decreto 817/2015 (BOE 219) se utiliza para evaluar el estado de las masas de aguas fluviales. Este índice sólo utiliza datos de presencia y a nivel taxonómico de familia, por lo que hemos simplificado la matriz de datos a este nivel (Tabla 11B).

Tabla 11B.- Matriz de datos del muestreo de macroinvertebrados en las cuatro estaciones del año a nivel de familias.

Familia	mar-20					jun-20					sep-20					dic-20				
	Saludada	Lezar	Castril	Llaneros	Cortes	Saludada	Lezar	Castril	Llaneros	Cortes	Saludada	Lezar	Castril	Llaneros	cores	Saludada	Lezar	Castril	Llaneros	Cortes
Planariidae															1					
Lumbricidae			1		1			5	1				1		2	1		4		
Tubificidae		5	8					2		3		3	2		4					
Erpobdellida		2				1	1					2			4					
Glossiphoniidae			1																	
Bithyniidae														1						
Ancylidae											1		4		5	1				
Hydrobiidae			14	1	1		1	83	1	1										
Physidae			1										11	2					1	
Lymnaeidae			19					5					1	1	4			22	3	
Sphaeriidae																	2			
Hydracarina								1				1								
Gammaridae						3		1												
Asellidae			1																	
Baetidae	294	14	24	429	553	652	464	215	183	3	28	97	3	45	134	16	15	37	4	11
Caenidae		1		6	9		1	54	25	9				14	7	1		2	2	1
Ephemeroptera	6	49	4	26	1	74	125	36	26	4									3	
Heptageniidae	132	199	5	25	4	74	19	3	83						4	1		2	2	
Leptophlebiidae						1	1	7												
Oligoneuridae				61				2	688	14				52						
Aeshnidae					1				2	4									2	
Gomphidae										1										
Calopterygidae																				1
Leuctridae						3	1				2	23			1					
Nemouridae			1			2		2					1							
Perlidae	78	51	4	2		61	73	1			46	46		3	78	147	1	1		
Corixidae							39									4				
Gerridae	1						1					25		2	5					
Veliidae						1						1								
Dytiscidae						1	3						4	2						
Gyrinidae			1		8			1				1		2	8			18	4	
Elmidae	15	35	53	7	1	6	48	158	37	4	2	124	88	16	19	63	37	94	18	14
Hydraenidae		5				2									3					
Hydrophilidae									1										3	
Brachycentridae	676	163	328		1	111	2	96					16		83		66			
Glossosomatidae			4					11										1		
Hydropsychidae	65	22	11	6	24	25	23	32	8	19	27	45	6	4	54	168	63	29	21	31
Hydroptilidae										1					2					1
Lepidostomatidae	58	13	2			1					25	13	12				28			
Limnephilidae	16		5					3							47		4			
Polycentropidae			7					14					2				3	1		
Psychomyiidae												13					14			
Rhyacophilidae	6	5	8	1	1	14	32	9	14	7	7	19	1	5	3	3		1	2	
Sericostomatidae	56	18	1			27	3				11			1	24	9				
Blephariceridae	8	3	1		1	3	5	3	6		1				5					
Chironomidae	286	19	62	17	895	35	47	36	34	19	6	24	5	2	21	5	2	23	4	1
Culicidae											1		1							
Dixidae												6			1					
Empididae								1							1		1			
Limoniidae	1	1				2	2		3			1								
Simuliidae		3	4	23	41	21	16	41	7	7	5	2	7	1	37			14	13	21
Tipulidae				1														1	1	
Stratiomyidae	1				1	7	1					1			2					
Atherycidae				1					1											
Tabanidae		1												2						
Muscidae														1						

Los umbrales de corte de los valores del IBMWP entre los cinco niveles ecológicos definidos por la DMA, para los dos tipos de río que tenemos en las masas de agua del Castril se exponen en la tabla 12. Entre estos destacamos el que separa el buen estado del estado moderado: 96,4 para ríos de montaña mediterránea caliza; y 93,0 para ríos mineralizados de baja montaña mediterránea.

Tabla 12.- Umbrales de corte de los valores del IBMWP entre los cinco niveles ecológicos definidos por la DMA

Umbrales	MB-Bu	Bu-Mo	Mo-Ma	Ma-Mma
R-T09	158.8	<b>96.4</b>	56.7	24.57
R-T12	152.5	<b>93</b>	55.8	22.32

La aplicación de IBMWP a los datos como suma ponderada por los coeficientes del índice asignados a cada familia se expone en la tabla 13. Atendiendo a los umbrales mencionados encontramos que el estado ecológico del Castril atendiendo al elemento biológico de macroinvertebrados varía entre bueno y moderado. Las tres estaciones más altas (Saludada, Laneros y Castril) tienen tres muestreos en buen estado y uno en moderado, por lo que podemos inferir un buen estado, mientras que en Laneros tenemos tres muestreos en estado moderado y uno en el umbral, y en el tramo de Cortes de Baza el estado es moderado en los cuatro muestreos.

Tabla 13.- Comparación de los valores del índice IBMWP en los cinco tramos muestreados del río Castril a los largo de las cuatro estaciones del año 2020 con los de 2002.

	R-T09	R-T09	R-T12	R-T12	R-T12		R-T09	R-T09	R-T12	R-T12	R-T12
	Saludada	Lezar	Castril	Laneros	Cortes		2002	Saludada	Lezar	Castril	Laneros
2020											
mar-20	113	111	144	77	88	primavera	148	135	106	87	70
jun-20	150	132	148	93	70	verano	112	109	137	95	62
sep-20	86	105	95	83	76	otoño	143	124	132	72	72
dic-20	115	77	77	80	62	invierno	132	120	146	56	63

El estado ecológico estimado por el IBMWP de los muestreos que se realizaron en 2002 también se expone en la tabla 11. La comparación entre ambos muestreos en las mismas estaciones nos permite analizar la evolución del estado ecológico en estos casi 20 años. En general, los valores absolutos no han tenido grandes cambios, pero su tendencia ha sido a descender. Vemos que en las tres estaciones del tramo alto hay un muestreo de verano/otoño que pasado de estado bueno a moderado, por tanto ha empeorado su estado ecológico. Las estaciones del tramo bajo del Castril mantienen su estado moderado.

Estos resultados muestran un estado ecológico un nivel inferior al que publica el borrador del Plan Hidrológico (2022-27) de La Demarcación Hidrográfica del Guadalquivir, que para los invertebrados bentónicos evalúa un estado muy bueno en la masa de aguas arriba de El Portillo y bueno en la de aguas abajo. No se nos ocurre otra explicación que la tendencia demostrada por el profesor Javier Alba (Alaba- Tercedor, 2016), por la que los operarios con menos experiencia limnológica son los que asignan valores ecológicos mayores a los ríos muestreados.

## Efectos de la regulación del Embalse del Portillo

A lo largo de este estudio se ha podido comprobar como la regulación del Embalse del Portillo representa una barrera infranqueable que fragmenta las comunidades de los tramos altos y bajos. La presa también altera los factores ambientales que condicionan la dinámica de poblaciones de la trucha del río Castril, como son la temperatura del agua o los caudales (Gortázar et al., 2007). La temperatura en el tramo más próximo al nacimiento del río es muy uniforme durante todo el año al surgir del acuífero. Su rango de fluctuación (figura 13) va aumentando a medida que nos alejamos de este, descendiendo el río, hasta el embalse, cuya inversión térmica modifica el patrón natural de la temperatura aguas abajo de este (Gortázar, 2015). Dando lugar a temperaturas más frías en verano que en los tramos de aguas arriba del embalse, Ca-1 y Ca-2, de lo que serían de manera natural, acortándose su fluctuación térmica, tanto diaria como anual (figura 4.16). Las temperaturas máximas aguas abajo del embalse se producen mucho más tarde de lo que se producen aguas arriba (García Codrón, 1994). En Ca-1 y Ca-2 las temperaturas máximas se producen entre julio y agosto, y en Ca-3, la estación inmediatamente aguas abajo del embalse, se producen en octubre y noviembre (figura 3). Este retraso temporal en las temperaturas máximas del agua trastorna los ciclos biológicos de distintas especies, sobre todo de insectos acuáticos (Dolédec et al., 1996).

El Embalse de El Portillo se construyó para un uso de regadío de otras cuencas diferentes a la del Castril (inicialmente mediante un transvase al Embalse de San Clemente 6em el río Guardal) que no fue posible (Ruiz Ortiz *et al.*, 2021). Por ello, el caudal desembalsado de El Portillo sigue una pauta que pretende imitar la aportación que recibe el embalse. Sin embargo, no se pueden reproducir las oscilaciones diarias que se producen en el régimen natural del caudal aguas arriba del embalse, resultando un régimen con pautas rectangulares (figura 5). Por esto, las estaciones Ca-1 y Ca-2 cuentan con las variaciones naturales del caudal del río y las estaciones Ca-3, Ca-4 y Ca-5 no, manteniéndose unos caudales mucho más constantes en el tiempo. No obstante, ante una gran avenida el embalse frenaría el impacto de esta, como por ejemplo la avenida acontecida en diciembre de 2019, que fue la más fuerte de, por lo menos, los últimos 11 años, y pudo afectar a las poblaciones aguas arriba del embalse pero en bastante menor medida a las de aguas abajo. Sin embargo, Alonso et al. (2008) establecieron unas normas de funcionamiento de presas según los requerimientos de hábitat en base al caudal de la trucha común, en las que determinan que para la dinámica de poblaciones es más importante la duración o la frecuencia con la que ocurren los periodos de sequías o avenidas, que la intensidad de estos episodios extremos, como el ocurrido en diciembre de 2019.

### Variaciones en el medio físico a lo largo del tiempo

Se aprecia un aumento de la temperatura, entre 2 y 4°C, aguas abajo del embalse en 2020 en comparación con las temperaturas de 2003 y 2005. Por esto, se sospecha que las temperaturas de todo el cauce han aumentado a lo largo de estos años. Sin embargo, no se puede contrastar esta información debido a que en 2020 los únicos datos que se aportan son los de la estación de aguas abajo del embalse, Ca-3.

Los valores de conductividad recogidos durante los muestreos de 2020 fueron muy uniformes entre las estaciones y a lo largo del año, con valores entre 268 y 492  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Sin embargo, en 2001, la conductividad fue muy variable, oscilando entre valores de 201 y 1133  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (figura 15). Este cambio tan drástico en la conductividad se debe a la diferencia de caudales entre estos 2 años. En 2020 el caudal es mayor debido a las grandes avenidas que se produjeron a finales de 2019 (figura 16) y un aumento en el caudal puede implicar un descenso en los valores de conductividad (Plata y Pérez, 1999).

### **Las poblaciones de trucha**

Aguas arriba del embalse no se capturó ningún ejemplar mayor de 3 años, esto se debe a que las truchas de mayor tamaño se refugian en el embalse y solamente salen en época de freza (Gortázar, 2007).

Teniendo en cuenta las 4 campañas llevadas a cabo en 2020, Ca-3 es la estación que presenta, de media, mayor densidad y biomasa de trucha. Sin embargo, en 2001, se produce un descenso de estos valores aguas abajo del embalse, siendo las estaciones de Ca-1 y Ca-2 las que presentan valores superiores, tanto en la densidad como en la biomasa. Esto se debe al efecto a corto plazo del embalse, finalizado en 1999, en 2001 el impacto era muy grande y por eso la densidad y biomasa de las truchas en Ca-3 eran inferiores a las de las estaciones aguas arriba del embalse. No obstante, hoy en día, hay mayor densidad de truchas aguas abajo del embalse (Ca-3) que aguas arriba. Aunque si únicamente se tienen en cuenta los muestreos de junio y septiembre de 2020, los comparables con 2001, la biomasa, de media, en Ca-3 es inferior a las de aguas arriba del embalse. Esto se traduce en que hay un impacto en reducción de la biomasa y un aumento de la densidad en Ca-3 en 2020. Por tanto, una disminución del tamaño medio.

La mejor zona de alevinaje para las truchas en el año 2020 según los muestreos realizados se encuentra en la estación Ca-3, inmediatamente aguas abajo del embalse. Es posible que las migraciones de freza aguas arriba se topen con la presa de El Portillo y ello justifique esta mayor densidad en Ca-3. En cambio, en 2001 la estación que presentó mayor densidad de alevines fue Ca-1. La gran avenida del diciembre de 2019 puede haber afectado al alevinaje de 2020 en los tramos altos y especialmente en Ca-1.

## PARTE SEGUNDA

### DISEÑO DE CAUDALES ECOLÓGICOS

El presente capítulo tiene por objeto proponer un régimen de caudales ecológicos para el río Castril, suficiente para el mantenimiento como ecosistemas de los tramos de río regulados aguas abajo de las obras hidráulicas existentes: minicentral hidroeléctrica (en construcción) y el embalse de El Portillo. Vamos a seguir las dos metodologías contempladas en la Instrucción de planificación Hidrológica: Hidrobiológico e Hidrológico.

#### Método Hidrobiológico

En este trabajo se ha utilizado la metodología IFIM (*Instream Flow Incremental Methodology*), desarrollado por el *U.S. Fish and Wildlife Service* y ampliamente descrito por Bovee (1.982, 1.995 y 1.998). Esta metodología, junto con su herramienta informática PHABSIM (*Physical Habitat Simulation*) se fundamenta en la caracterización del hábitat con el fin de ver, a través de curvas de preferencia del hábitat físico, cuál es el uso de ese hábitat por una especie o conjunto de especies en cada estado de desarrollo y, mediante la realización de una simulación hidráulica, cómo cambia el uso de dicho hábitat en función de las características del caudal circulante. Entre los distintos métodos disponibles, éste es el que integra un mayor número de variables hidrológicas, geomorfológicas y biológicas.

La herramienta de simulación PHABSIM utiliza un modelo hidráulico unidimensional que, en la actualidad y debido al aumento de la potencia de cálculo de las computadoras, puede ser sustituido por un modelo en dos dimensiones. Estos modelos de dos dimensiones son útiles en estudios donde es importante la distribución local detallada de profundidades y velocidades, como ocurre en el caso de la evaluación del hábitat de los peces (Steffler, 2.000).

Para el presente estudio se ha usado un programa desarrollado por Peter Steffler en la universidad de Alberta, en Canadá, llamado RIVER2D. Este programa utiliza un modelo de simulación hidráulica de dos dimensiones a través de elementos finitos, que permite valorar el hábitat físico piscícola.

La metodología empleada incluye la caracterización física del cauce, como suministrador de hábitat piscícola; la simulación hidráulica, relacionando valores de caudal con superficies de hábitat efectivo; y las curvas de preferencia de las especies piscícolas seleccionadas, que se definen para cada una de las variables hidráulicas que determinan el hábitat fluvial y reflejan el rango de dichas variables más adecuado para cada etapa de desarrollo de las mismas.

La caracterización física del cauce se ha llevado a cabo a partir del tipo de sustrato, teniendo en cuenta que este factor condiciona los tipos de refugio y zonas de freza presentes en el río.

Respecto a la simulación hidráulica, se ha partido de un levantamiento topográfico de cada una de las estaciones de muestreo, a partir del cual se ha obtenido: la descripción morfológica del



cauce; la granulometría del sustrato para estimar su rugosidad; el caudal circulante medido directamente con correntímetro; y las dimensiones de la lámina de agua en cada tramo, correspondiente al caudal circulante en el momento del aforo.

Se han utilizado las curvas de preferencia correspondientes a la trucha común, (*Salmo trutta*), y al barbo gitano (*Barbus sclateri*).

## Datos de campo

En este informe se han utilizado los datos de campo (topografía del cauce y aforos de caudal circulante) obtenidos en la Asistencia Técnica para la Valoración, Seguimiento y Protección de Poblaciones Faunísticas del río Castril en 2002 y en la que participamos tres de nosotros. Hemos seleccionado dos tramos del río Castril situados aguas abajo del Embalse de El Portillo: Castril y Los Laneros. Los correspondientes planos topográficos se exponen en las figuras 7 y 8.

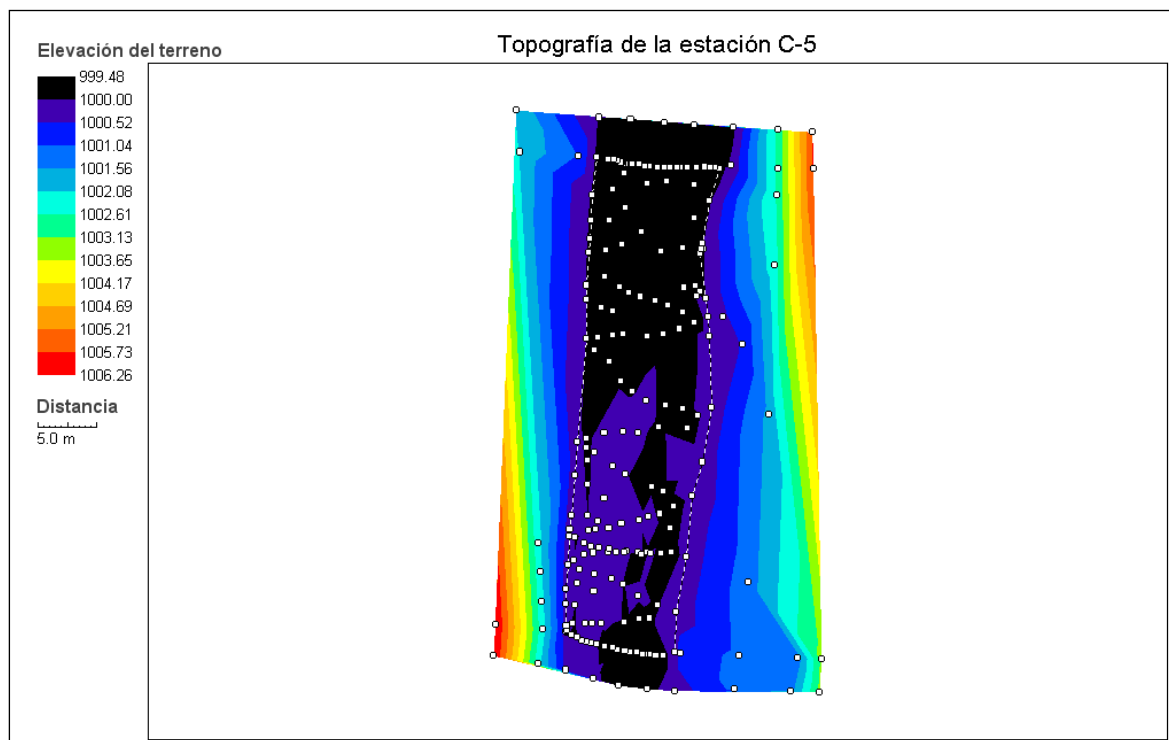
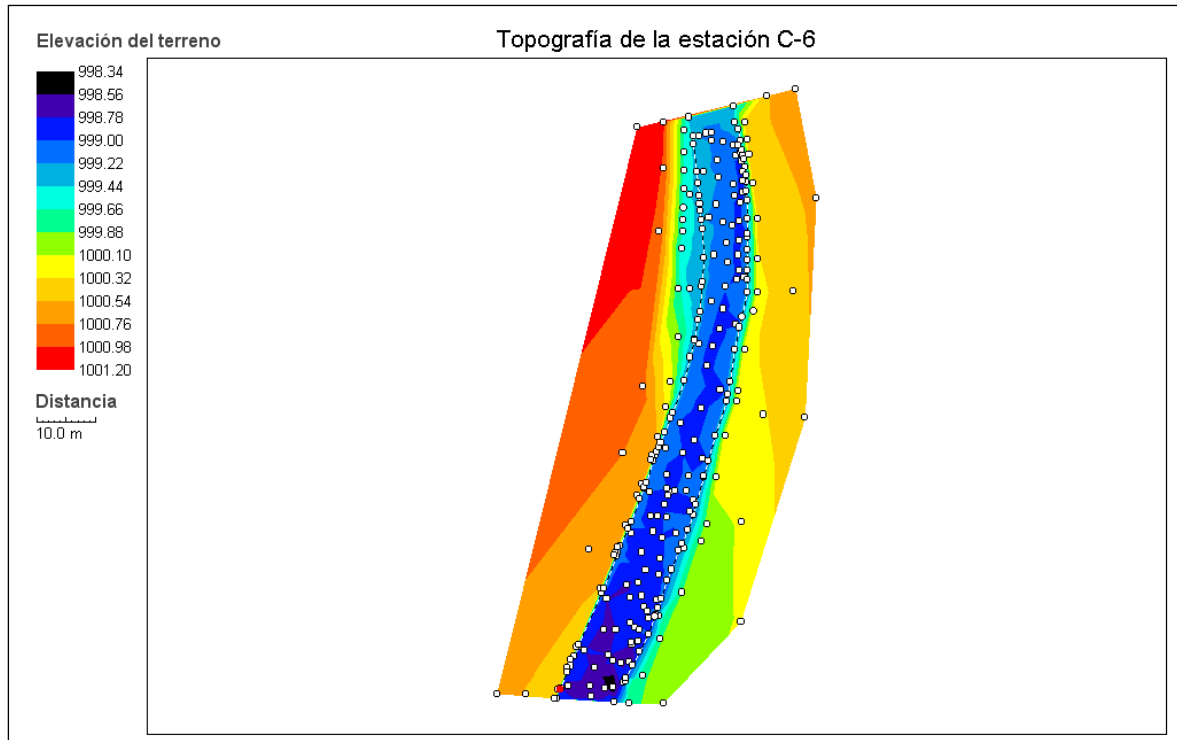


Figura 20.- Planta del tramo del río Castril en la estación C-5 (Castril).

La estación del tramo de Castril (C-5) es un tramo recto que se sitúa justo aguas abajo de la suelta de agua del embalse de El Portillo. Tiene casi 10 m de ancho y casi 50 de longitud (figura 7).

En el tramo de Los Laneros, la más baja de las contempladas en este estudio, el agua lleva gran cantidad de elementos finos en suspensión. Es una curva suave de 100 m de longitud y 8 m de anchura (figura 8).

En la tabla 2 se exponen los valores de caudal aforados en cada una de las dos campañas de muestreo, así como las cotas de la lámina de agua, aguas arriba y aguas abajo.



*Figura 21.- Planta del tramo del río Castril en la estación de Los Laneros*

Se observa que en Castril, durante el muestreo de junio, el caudal fue bastante bajo. Esto es debido a que el embalse de El Portillo, situado justo aguas arriba de esta estación, suelta su agua por dos puntos diferentes, formándose dos cauces que se unen algo más abajo, situándose nuestra estación en el izquierdo. En junio el agua corría por ambos cauces, mientras que en la campaña de enero, el embalse estaba soltando prácticamente todo el agua por el cauce izquierdo.

*Tabla 14.- Elevación de la lámina de agua y caudal en el momento del muestreo.*

Estación	Caudal (m <sup>3</sup> /s)		Altura de entrada (m)	Altura de salida (m)
	Jun '01	Ene '02	Jun '01	Jun '01
<b>Castril</b>	0,56	1,36	1000,25	999,91
<b>Los Laneros</b>	1,37	1,5	999,41	998,95

## SIMULACIÓN HIDRÁULICA

En cada tramo estudiado la simulación ha sido realizada con diferentes valores de caudal, considerando incrementos sucesivos de caudal dentro del rango que aparece en el eje de abscisas de las figuras 13 y 14.

Con dicha simulación se puede visualizar de manera gráfica la evolución del nivel de las aguas, la inundación progresiva de las orillas y, lo que es más importante, el modo en que varía la velocidad y la profundidad del agua en cada una de las celdas establecidas por el modelo. Así se puede conocer posteriormente, mediante la aplicación de las funciones de preferencia, qué área del tramo es susceptible de ser habitada por las especies estudiadas.

Como ejemplo de la simulación hidráulica se expone, en las figuras 9 y 10, la planta de las estaciones de muestreo, con los resultados obtenidos por el programa RIVER-2D en cuanto a profundidad (representada por colores) y velocidad del agua (por vectores), para el caudal que llevaba en el río durante la primera campaña.

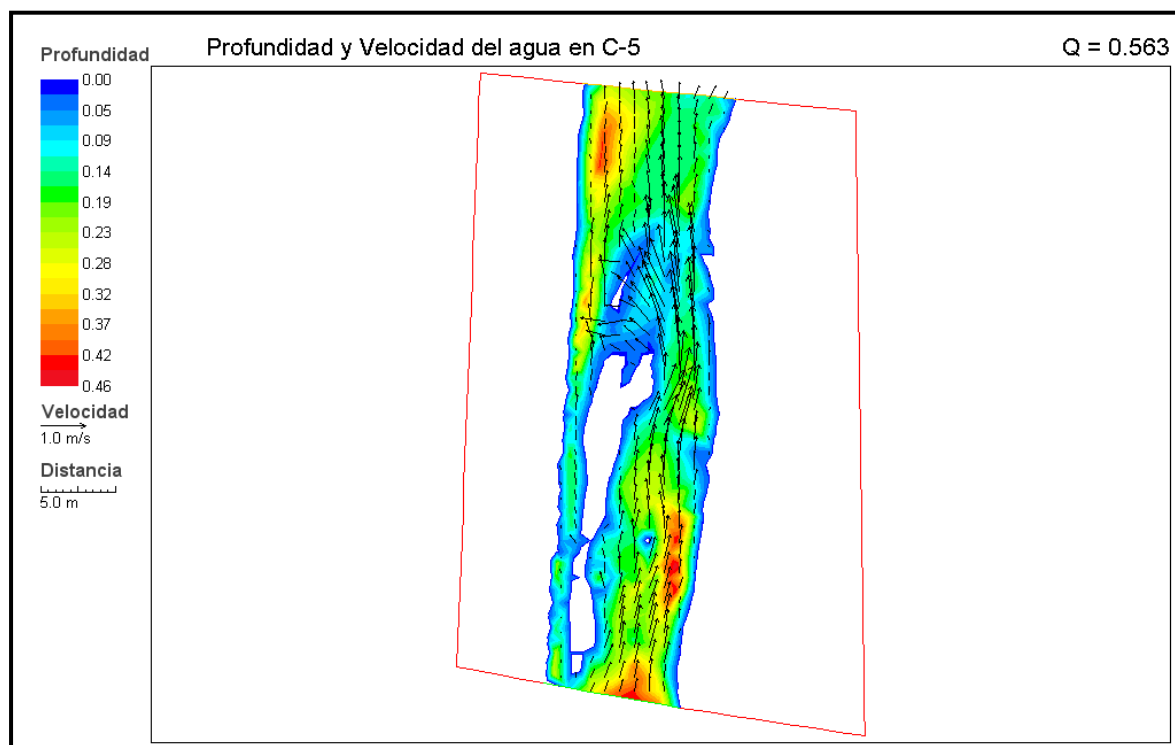


Figura 22.- Distribución de profundidades (en colores) y velocidades del agua (vectores) en la estación Castril C-5, para un caudal de  $0,563 \text{ m}^3/\text{s}$

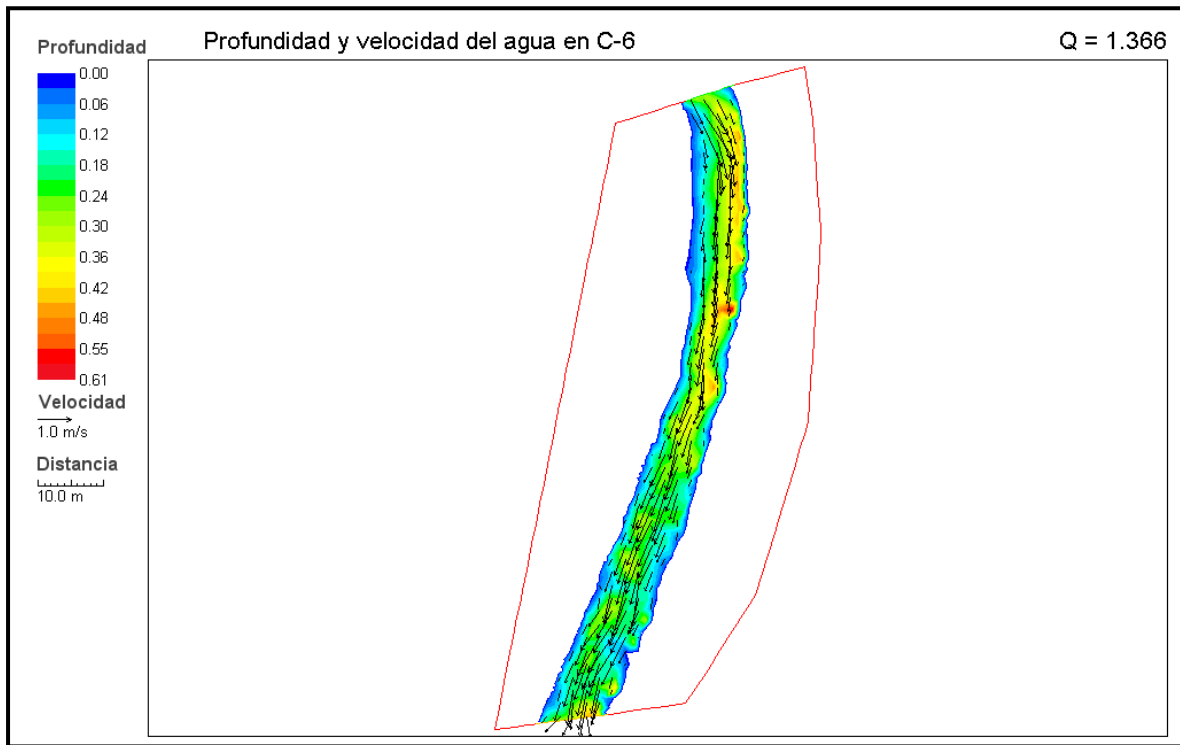


Figura 23.- Distribución de profundidades (en colores) y velocidades del agua (vectores) en la estación de Los Laneros, para un caudal de 1,366 m<sup>3</sup>/s (medido durante la primera campaña).

## ESTIMACIÓN DEL HÁBITAT POTENCIAL ÚTIL

Una vez realizada la simulación, el programa RIVER-2D permite incorporar las curvas de preferencia de las distintas especies consideradas, con el objeto de estimar la superficie de Hábitat Potencial Útil existente para esas especies. Esto permite ver cómo se modifican las condiciones del cauce respecto a los requerimientos de las especies, en función de los distintos caudales simulados.

En las figuras 11 y 12 se ilustra, a modo de ejemplo, la variación de la distribución del Hábitat Potencial Útil (HPU) en cada tramo, bajo las condiciones de dos caudales circulantes distintos. El valor de HPU correspondiente a 0 significa que en esa celda la especie considerada no puede habitar, mientras que los sucesivos valores crecientes de HPU indican el grado de adecuación de la celda para dicha especie, atendiendo a sus curvas de preferencia, correspondiendo el valor 1 al hábitat óptimo. El HPU cuya distribución espacial se representa en estos planos corresponde al estado de adulto.

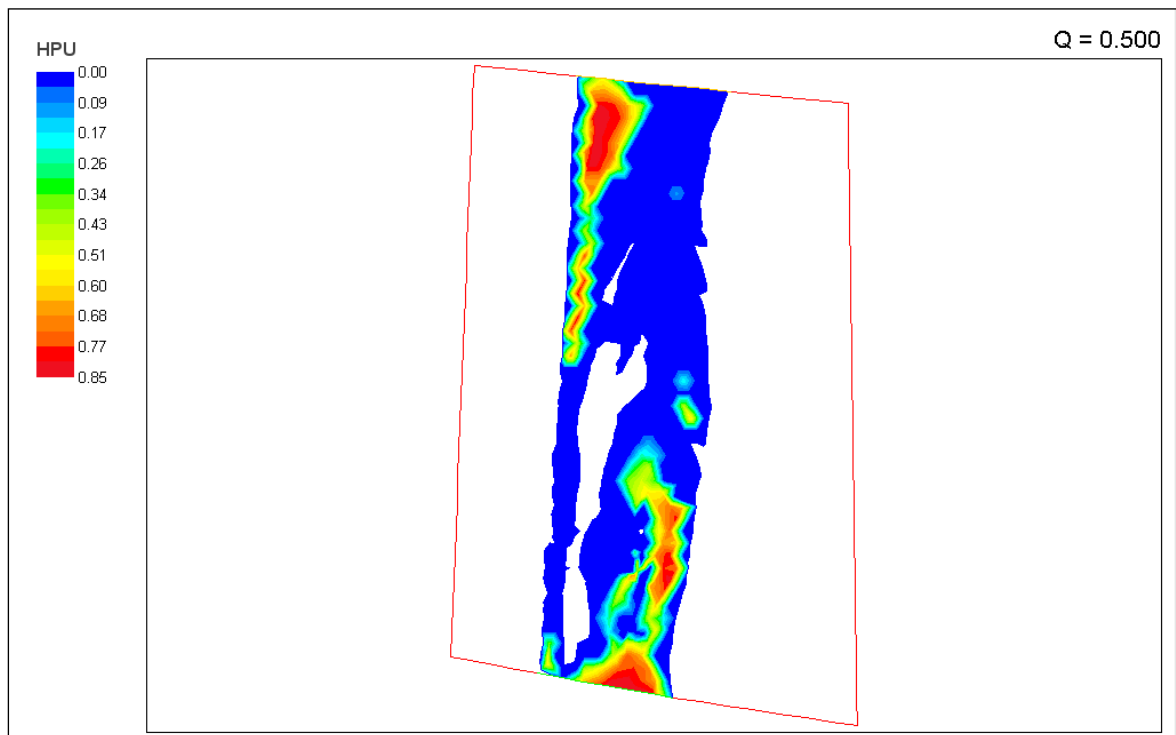
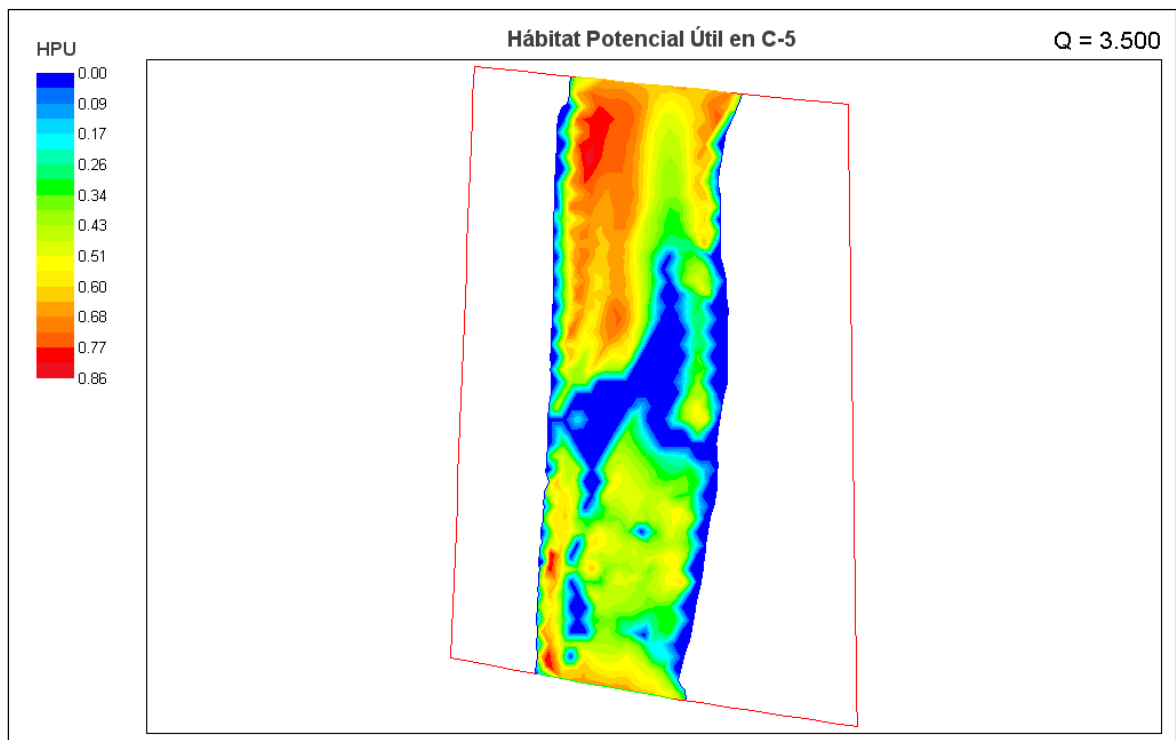


Figura 24.- Planos del tramo del río Castril en la Estación de Castril que representan dos simulaciones diferentes: un caudal alto ( $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y otro bajo ( $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ); en los que se refleja la distribución de Hábitat Potencial Útil para el adulto de trucha.

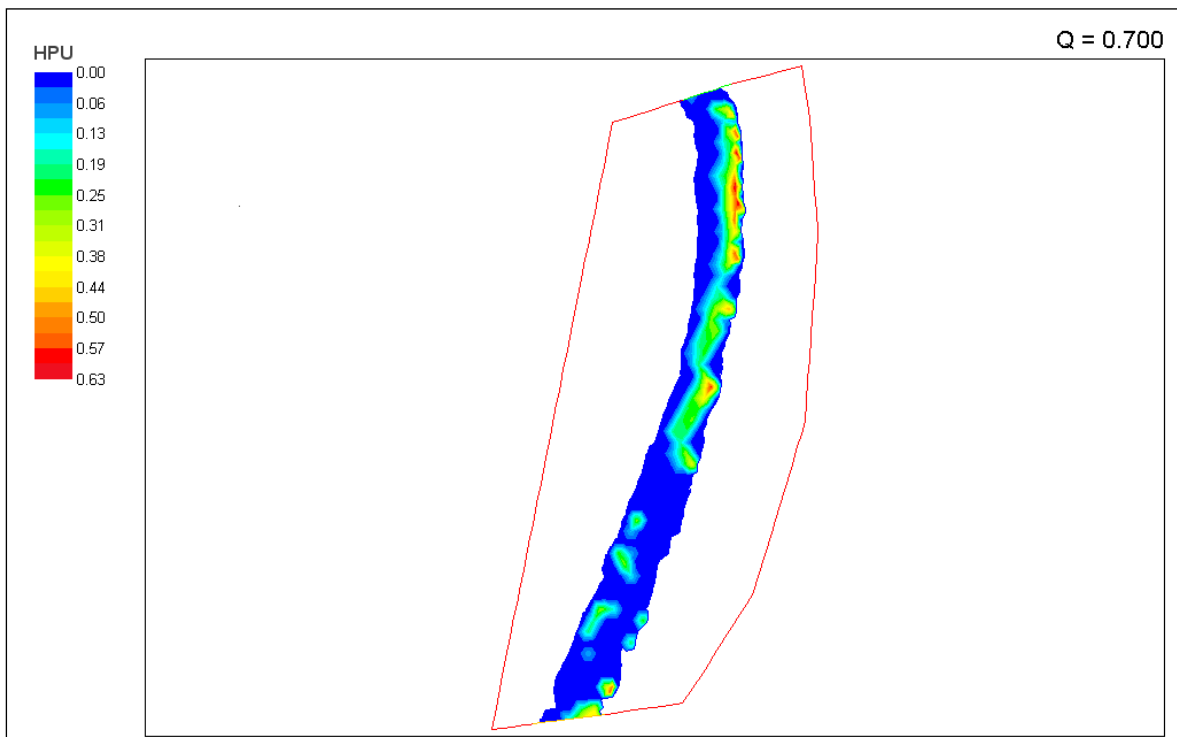
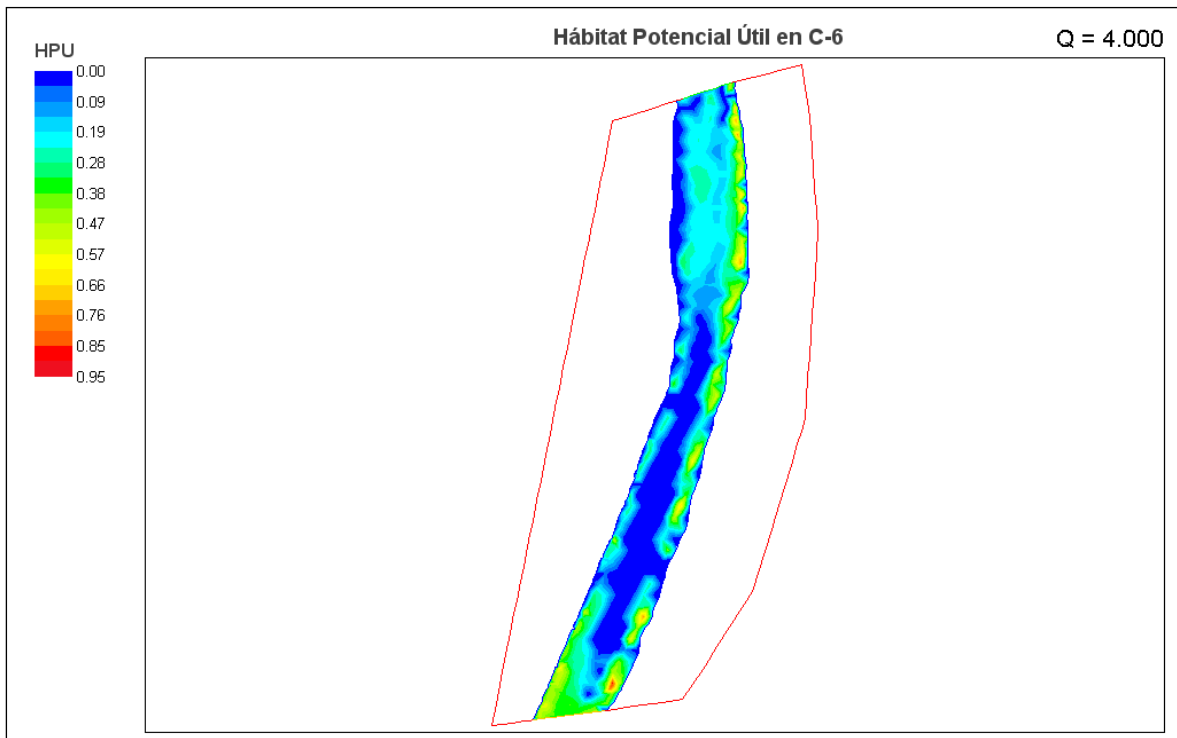


Figura 25.- Planos del tramo de Laneros que representan dos simulaciones diferentes: un caudal alto ( $4 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y otro bajo ( $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$ ); en los que se refleja la distribución de Hábitat Potencial Útil para el barbo adulto.

Una vez realizada la simulación en cada estación y teniendo en cuenta las funciones de preferencia de cada estado de desarrollo de la especie considerada, se obtienen las curvas que relacionan el caudal circulante con el hábitat disponible en cada tramo. Estas gráficas HPU-Caudal se presentan en las figuras 13 y 14.

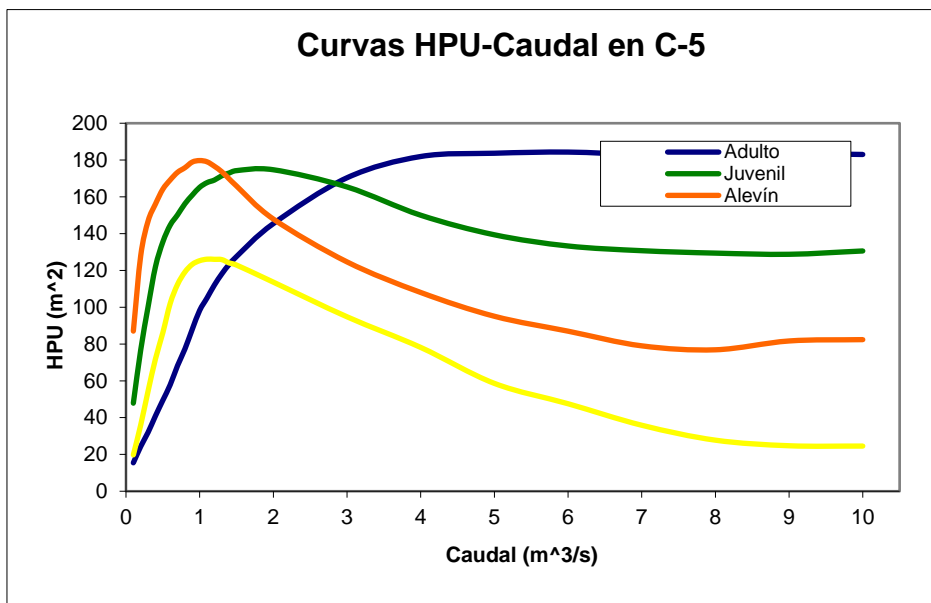


Figura 26.- Curvas de fluctuación del hábitat potencial útil en función del caudal circulante, para los cuatro estados de desarrollo de la trucha, en el tramo de Castril.

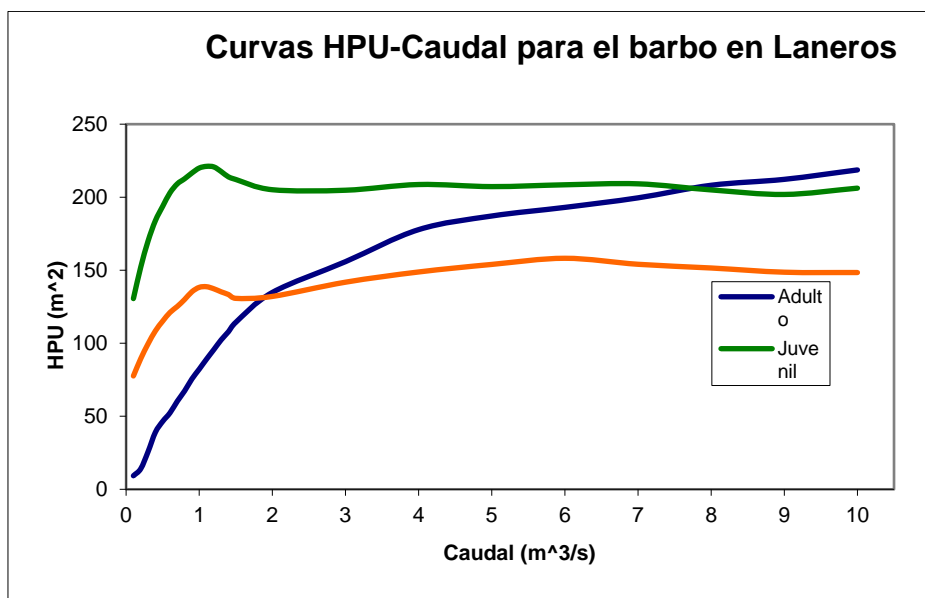


Figura 27.- Curvas de fluctuación del hábitat potencial útil en función del caudal circulante, para los tres estados de desarrollo del barbo, en C-6.

## CURVAS HÁBITAT REAL ÚTIL-CAUDAL

No podemos comparar directamente estas curvas entre sí, ya que los diferentes estados de desarrollo no tienen las mismas exigencias en cuanto al tamaño de su hábitat: un solo adulto necesita mucho más territorio para vivir que un alevín. Para ajustar estas curvas y que sean comparables entre sí, hemos empleado las relaciones que da Bovee (1.982), que son las siguientes:

$$\text{Adulto} \div \text{Juvenil} = 1/0,8$$

$$\text{Adulto} \div \text{Alevín} = 1/0,3$$

$$\text{Adulto} \div \text{Freza} = 1/0,2$$

Llamamos Hábitat Real Útil (HRU), a la superficie de hábitat (en m<sup>2</sup>) existente para cada estado de desarrollo, de modo que sea comparable con el del adulto. A continuación, en las figuras 15 y 16, se presentan las curvas HRU-Caudal, obtenidas mediante la aplicación al HPU de las relaciones anteriores. Estas gráficas nos permiten ver cuál es el estado vital más limitante.

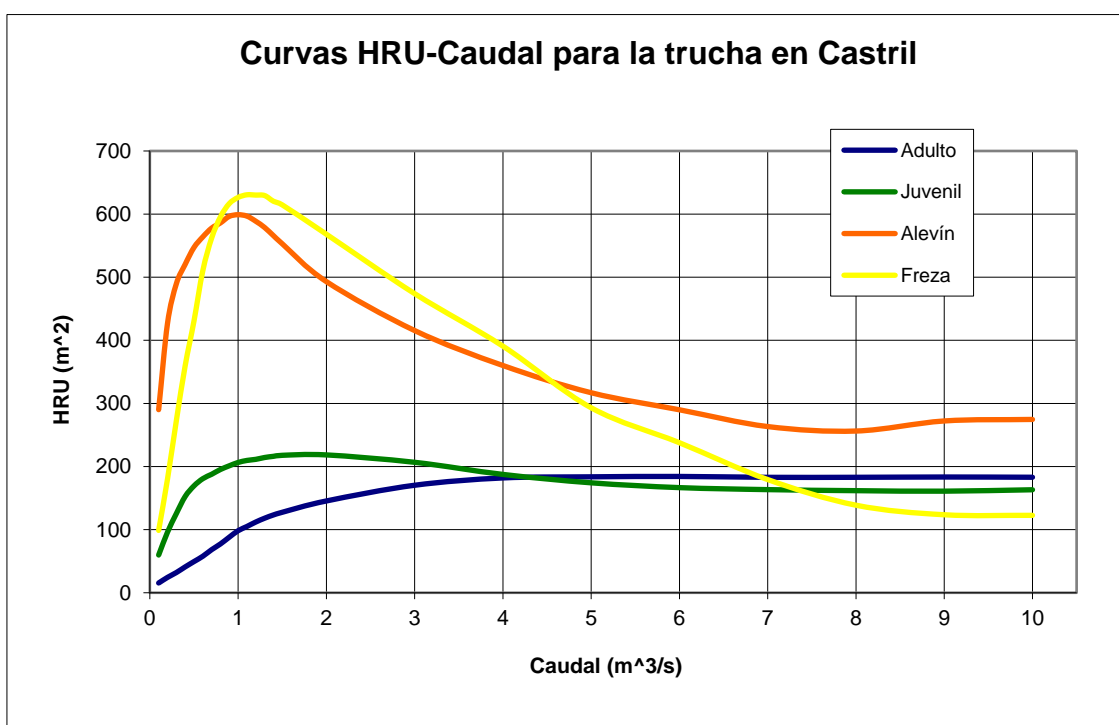


Figura 28.- Curvas de fluctuación del hábitat real útil en función del caudal circulante, para los cuatro estados de desarrollo de la trucha, en C-5.



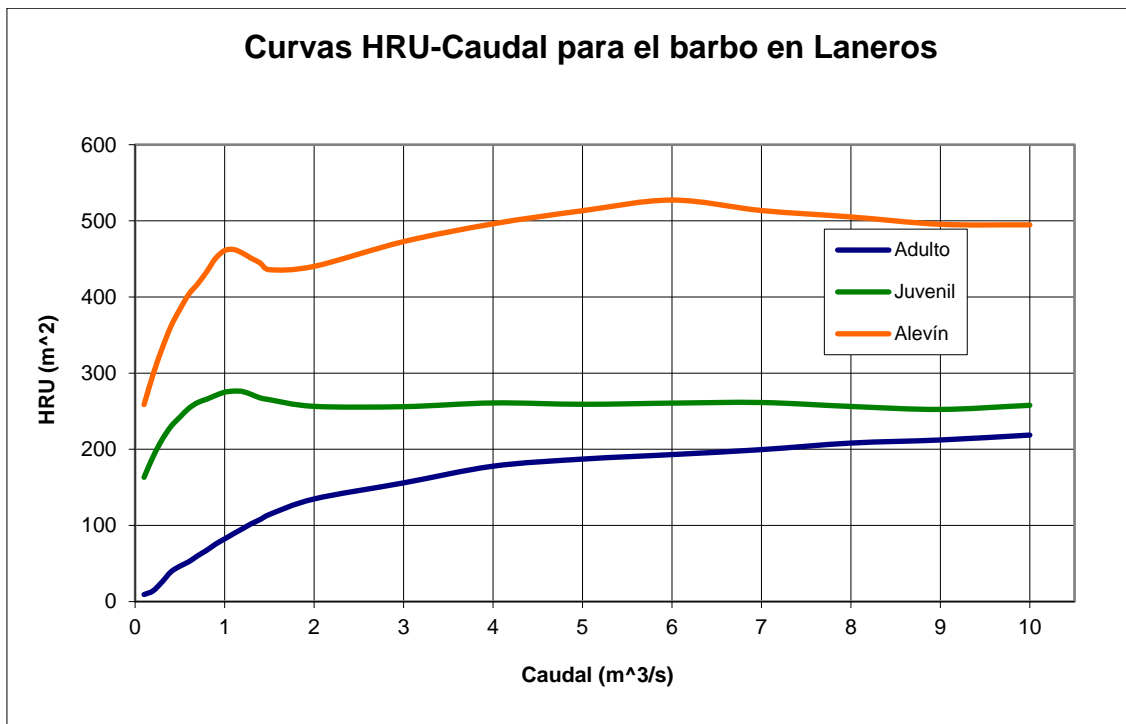


Figura 29.- Curvas de fluctuación del hábitat real útil en función del caudal circulante, para los tres estados de desarrollo del barbo, en Puente de Laneros.

En las curvas anteriores se puede ver cómo, por debajo de  $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ , el estado de desarrollo que tiene menos hábitat disponible es el adulto en todas las estaciones. Es obvio que las decisiones que se tomen en cuanto al caudal mínimo necesario para mantener el hábitat piscícola, estarán en un rango de valores siempre inferior a  $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ . Por lo tanto, estudiaremos solamente la curva HRU-Caudal correspondiente al adulto, ya que se trata del estado vital más limitante, es decir, al que más afectaría una reducción del caudal circulante.

### Caudales Básicos Mínimos

De acuerdo con la IPH, y con el Plan Hidrológico de la Demarcación del Guadalquivir la distribución de caudales mínimos se ha determinado ajustando los caudales obtenidos por métodos hidrológicos al resultado de la modelación de la idoneidad del hábitat, en función de alguno de los siguientes criterios:

- a) Considerando el caudal correspondiente a un umbral del hábitat potencial útil del 80% del máximo alcanzado por la simulación.
- b) el caudal correspondiente a un cambio significativo de pendiente en la curva de hábitat potencial útil-caudal.

En las figuras 17 a 18 se expone, para cada estación de muestreo, la curva HRU-Caudal que corresponde al adulto (de trucha en Castril y de Barbo en Laneros), junto con su derivada, ya que ésta nos permite apreciar con más claridad los cambios en la pendiente de aquélla. Como

consecuencia del análisis de estas curvas podemos señalar algunos caudales base sobre los cuales asignar los mínimos flujos compatibles con la vida del río.

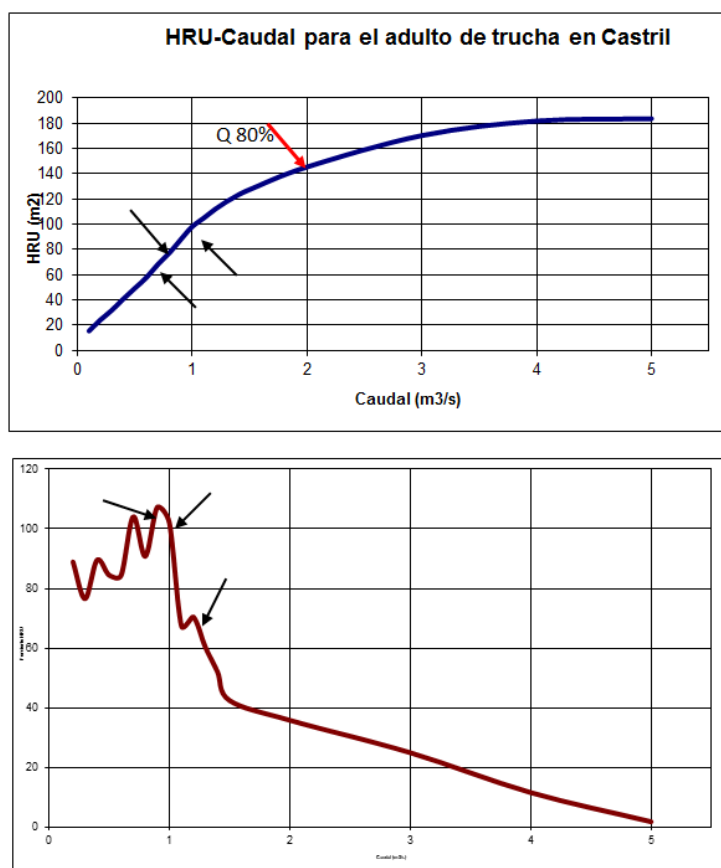


Figura 30.- Curva de fluctuación del hábitat real útil del adulto de trucha respecto del caudal circulante, junto con su derivada (pendiente), para C-5.

En la tabla 3 exponemos estos caudales básicos para el tramo correspondiente estación de muestreo de Castril. Vemos que el caudal que correspondiente al 80 % del máximo potencial de hábitat (184 m<sup>2</sup>) corresponde a **1,95 m<sup>3</sup>/s** de caudal mínimo básico (ver figura 17). Los cambios de pendiente en la curva hábitat caudal tienen una horquilla entre 88 y 112 m<sup>2</sup> de Hábitat, por lo que elegimos un valor intermedio (98,3 m<sup>2</sup>) como como Caudal básico para el criterio de cambio de pendiente y que corresponde a un caudal **de 1 m<sup>3</sup>/s**. Este caudal de cambio de pendiente genera un hábitat que se corresponde con el 54% del HPU máximo. Si observamos el valor que el Plan hidrológico asigna a su caudal de referencia con el criterio del 80% del HPUmax corresponde a unos valores muy inferiores.

Tabla 15.- Valores de los caudales básicos (cambios de pendiente), correspondientes a las necesidades de hábitat de los adultos de trucha, en la estación de Castril.

Castril	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	HRU (m <sup>2</sup> )
Q 80%	1,95	147,2
Q <sub>b inf</sub>	0,9	88,1
Q <sub>c</sub>	1	98,3
Q <sub>b sup</sub>	1,2	112,1

Los resultados correspondientes al tramo del río Castril en los Laneros pueden extraerse de la simulación del hábitat de la figura 18. Los caudales básicos para el tramo correspondiente estación de muestreo de Los laneros se exponen en la tabla 4. Vemos que el caudal que correspondiente al 80 % del máximo potencial de hábitat (148 m<sup>2</sup>) corresponde a 2,4 m<sup>3</sup>/s de caudal mínimo básico (ver figura 18). Los cambios de pendiente en la curva hábitat caudal tienen una horquilla entre 89 y 114 m<sup>2</sup> de Hábitat, por lo que elegimos un valor intermedio (102 m<sup>2</sup>) como como Caudal básico para el criterio de cambio de pendiente y que corresponde a un caudal de 1,3 m<sup>3</sup>/s. (ver tabla 4).

Tabla 16.- Valores de los caudales básicos (cambios de pendiente), correspondientes a las necesidades de hábitat del adulto del barbo, en el tramo de Laneros.

Laneros	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	HRU (m <sup>2</sup> )
Q 80%	2,4	148
Q <sub>b inf</sub>	1,1	89,1
Q <sub>c</sub>	1,3	102,3
Q <sub>b sup</sub>	1,5	114,3

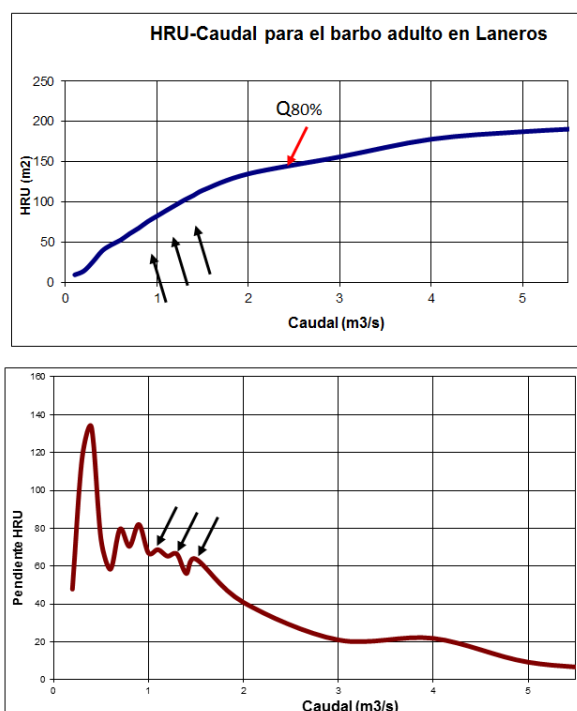


Figura 31.- Curva de fluctuación del hábitat real útil del adulto del barbo respecto del caudal circulante, junto con su derivada (pendiente), para el tramo de Laneros.

## Método Hidrológico

La instrucción de planificación establece que en el método hidrológico los caudales mínimos se deben calcular a partir de una serie hidrológica representativa del régimen natural, a escala diaria, siempre que sea posible, de al menos 20 años, preferentemente consecutivos incluyendo años secos y húmedos. Estos caudales mínimos se pueden definir mediante:

- variables de medias móviles anuales, de orden único, (p.ej. 21 días consecutivos), o variable, identificándose posibles discontinuidades del ciclo hidrológico para determinados números de días consecutivos.
- percentiles entre el 5 y el 15% a partir de la curva de caudales clasificados.

### Régimen Natural de Caudales

El régimen natural de caudales nos interesa para utilizarlo como patrón cuyas pautas de fluctuación ha de imitar el régimen ecológico que proponemos. Hemos aplicado el método hidrológico a partir de dos series hidrológicas naturales:

- una de ellas basada en datos reales históricos, aforados en el río Castril antes de la puesta en funcionamiento del embalse de El Portillo. A partir de los datos de aforos de la estación “La Original” (nº 5017) de la Confederación Hidrográfica del Guadalquivir, situada donde actualmente se encuentra el final de la cola del embalse se han utilizado los caudales diarios bajados de la web del CEDEX. La serie utilizada se ha completado en base a los aforos de los años 1972 a 1999;
- otra basada en una simulación de los caudales entrantes en el Embalse a partir de los caudales diarios soltados, de la variación diaria de volúmenes del embalse y teniendo en cuenta la evaporación diaria. La serie abarca los años 2001-2019 (datos bajados de la web Demarcación Hidrológica del Guadalquivir).

Las dos series hidrológicas representan un régimen de caudales diferentes, y estas diferencias responden por un lado a un posible cambio global que incluya un aumento actual de temperaturas y quizás a una disminución de las precipitaciones. Por otro lado, las diferencias también responden a la interferencia del propio Embalse en la hidrología subterránea por infiltraciones en el vaso y la presa, a los aumentos de la explotación de aguas subterráneas fuera de la cuenca topográfica, pero con acuíferos conectados, o bien a errores en la simulación de caudales. Estas diferencias se pueden ver en el régimen de caudales mensuales medios representado en la figura 32. Podemos afirmar que, principalmente por la presencia del el Embalse ha determinado la evaporación de agua desde su superficie (favorecido por el calentamiento climático) y su infiltración desde el fondo (favorecido por su geología Karstica), ha causado la pérdida de caudales en el río Castril de un 37 %.

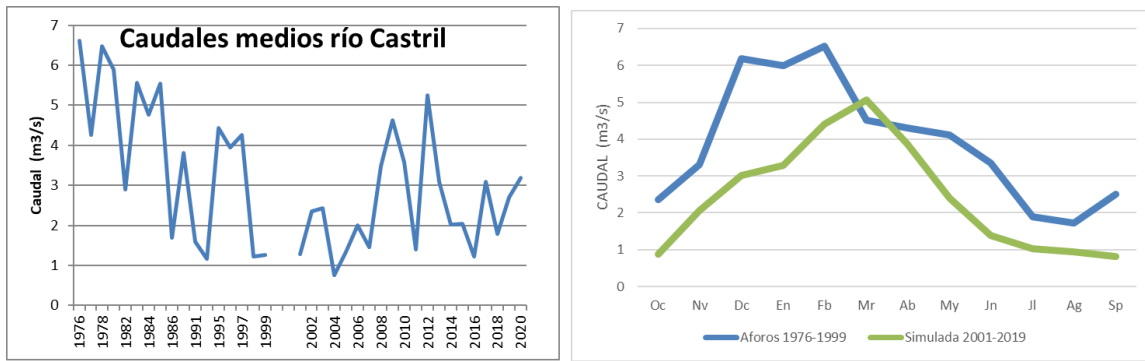


Figura 32.- Caudales anuales antes y después del Embalse del Portillo y regímenes de caudales medios mensuales de las series hidrológicas naturales seleccionadas.

El escoger una de las dos series tiene una gran repercusión práctica, pues el régimen natural de antes de El Portillo tenía un módulo anual de 3,89 m<sup>3</sup>/s (figura 32A) mientras que el natural simulado actual se reduce a 2,43 m<sup>3</sup>/s. Esta reducción representa una pérdida del 37 % de los recursos hídricos naturales. Creemos que esa pérdida es excesiva y no puede ser debida en exclusiva al cambio climático, pues además encontramos que el régimen ha cambiado sustancialmente, tan bien en su pauta anual. En efecto, los caudales máximos se originaban antes del embalse durante los meses de Diciembre, Enero y Febrero (ver figura 16), mientras que en la actualidad se da principalmente en Marzo. Este retraso también se da en los caudales mínimos de estiaje, pues ha pasado de los mínimos en Julio-Agosto, a tenerlos en la actualidad en Septiembre-Octubre.

### Caudales Mínimos hidrológicos

Dado que el río Castril en comparación con otros ríos mediterráneos, es un río caracterizado por una constancia natural de sus caudales, sus comunidades biológicas que se han conservado bastante bien son muy susceptibles, poco resilientes y no están adaptadas a cambios ambientales significativos. Por ello sugerimos que en la horquilla que nos permite la Instrucción de Planificación, elegimos la más conservadora, es decir utilizaremos el percentil 15 y 21 días para las medias móviles.

Tabla 17.- Caudales mínimos calculados a partir de dos series hidrológicas naturales y en base a medias móviles de 21 días y del Percentil 21.

	Aforos históricos (1972-1999)	Simulación de entradas al Embalse (2001-2019)
<b>Percentil 15</b>	<b>1,12 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>0,75 m<sup>3</sup>/s</b>
<b>Media móvil 21 días</b>	<b>1,31 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>0,80 m<sup>3</sup>/s</b>

## Regímenes ecológicos de caudales

Los regímenes de caudales ecológicos deben mantener de forma sostenible la funcionalidad y estructura de los ecosistemas acuáticos y de los ecosistemas terrestres asociados sin desviarse grandemente de las condiciones naturales. Es por ello, por lo que estos regímenes han de imitar a la pauta del régimen natural. Proponemos, pues que los mínimos corresponden a los caudales mensuales en que se dan los mínimos de estiajes y la variación del régimen sea proporcional en los meses restantes. Nosotros hemos utilizado generalmente la proporción directa, pero en estas circunstancias de pérdida de recursos hídricos vamos a utilizar la raíz cuadrada de dicha proporción (factor de variación 1 en los Planes Hidrológicos).

## Regímenes Ecológicos de Caudales hidrológicos

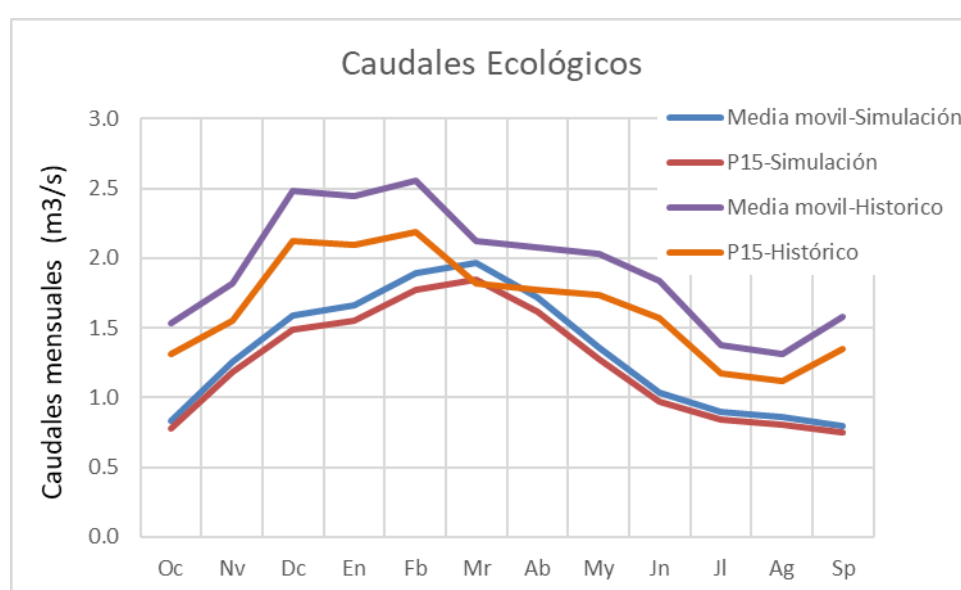


Figura 33.- Regímenes ecológicos de caudales propuestos según la serie hidrológica natural utilizada (histórica o simulada) y de los criterios de caudal mínimo (Media móvil 21 o P15).

En la figura 33 se representan estos regímenes ecológicos en términos de caudales medios mensuales y en la tabla 18 se exponen sus valores. Los caudales basados en el régimen histórico respecto al módulo de los caudales existentes actualmente representan el 68% y 79% según los criterios percentil 15 y media móvil respectivamente. Los basados en el régimen natural simulado representan el 51% y 54% según los criterios percentil 15 y media móvil respectivamente.

**Tabla 18.-** Valores de los caudales ecológicos(m<sup>3</sup>/s) en términos mensuales atendiendo a los criterios del percentil 15 y a la media móvil de 21 días, y a los regímenes de caudales naturales históricos (1976-99) y a los caudales naturales simulados por entradas al embalse del El Portillo. Valores medios y % respecto al régimen natural simulado.

<b>Caudales ecológicos</b>				
Simulación entradas			Historico	
2001-2020			1976-99	
Media móvil-	P15-Simulación		Media móvil-	P15-Histórico
0.83	0.78	<b>Oc</b>	1.53	1.31
1.26	1.18	<b>Nv</b>	1.82	1.56
1.59	1.49	<b>Dc</b>	2.49	2.13
1.66	1.55	<b>En</b>	2.45	2.09
1.90	1.78	<b>Fb</b>	2.56	2.18
1.97	1.84	<b>Mr</b>	2.13	1.82
1.72	1.61	<b>Ab</b>	2.07	1.77
1.36	1.27	<b>My</b>	2.03	1.73
1.04	0.97	<b>Jn</b>	1.83	1.57
0.90	0.84	<b>Jl</b>	1.37	1.17
0.86	0.81	<b>Ag</b>	1.31	1.12
0.80	0.75	<b>Sp</b>	1.58	1.35
<b>1.32</b>	<b>1.24</b>		<b>1.93</b>	<b>1.65</b>
54.2	50.8	<b>%</b>	79.1	67.6

El borrador del Plan Hidrológico del Guadalquivir (2022-27) propone un régimen de caudales muy inferior a estas propuestas con un valor medio de 0,62 m<sup>3</sup>/s que representan un 25 % del Caudal Natural actual (simulado por entradas). Además, resulta sorprendente el retraso de los máximos anuales que se ponen en Abril.

Por tanto, siendo realistas y asumiendo que los daños causados por el Embalse del El Portillo, por la sobreexplotación de acuíferos externos y por el cambio climático, podemos rechazar los regímenes ecológicos basados en el régimen histórico de antes de la presa que suponían un 68-79 % de régimen natural. Por ello, proponemos los caudales ecológicos basados en la pauta y valores del régimen natural actual (simulado de entradas al embalse), asumiendo que es posible lograr la sostenibilidad del ecosistema fluvial natural a medio o largo plazo, con unos caudales ecológicos que representan el 51-54% del dicho caudal natural (Tabla 18). Su comparación con el propuesto en el borrador del Plan hidrológico se expone en figura 34.

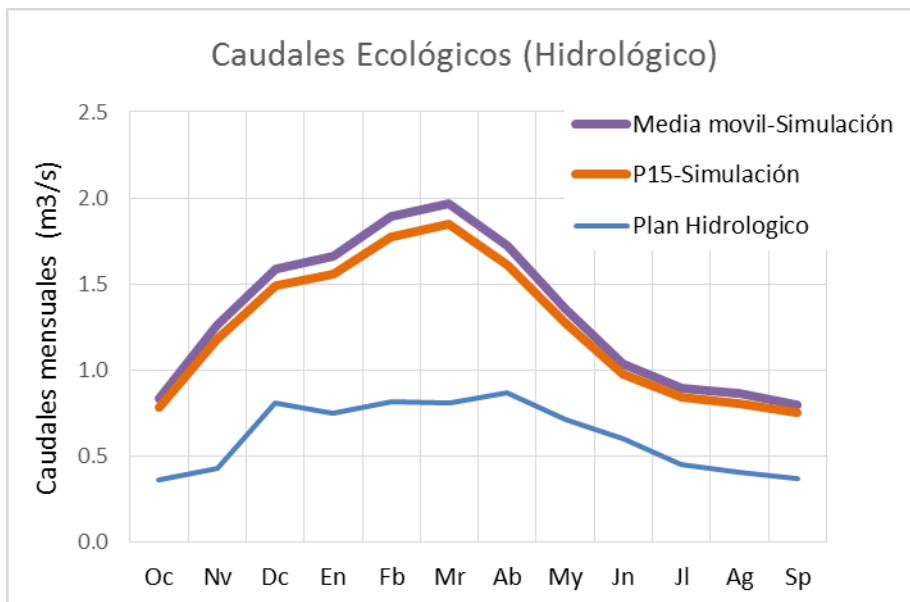


Figura 34.- Régimen de Caudal ecológico determinado por método hidrológico en comparación con el régimen propuesto por el borrador del Plan Hidrológico 2022-27.

## Régimenes Ecológicos de Caudales hidrobiológicos

Los caudales básicos que se han marcado en el apartado anterior hacen referencia a puntos de las curvas HRU-Caudal en los que, bien el hábitat que generan corresponden al 80% del su valor máximo, o bien en que hay un cambio en la pendiente, es decir, son puntos a partir de los cuales un aumento de caudal no supone un incremento significativo en la superficie de hábitat disponible. Estos valores se exponen en las tablas 15 y 16. Los valores del criterio el 80% del HPU máximo suponen unos caudales de 1,95 m<sup>3</sup>/s y 2,4 m<sup>3</sup>/s para los tramos de Castril y Laneros respectivamente. Respecto al criterio de cambio de pendiente, los respectivos valores son 1 m<sup>3</sup>/s y 1,3 m<sup>3</sup>/s.

Sobre estos valores de caudal, se debe escoger el más apropiado teniendo en cuenta diversos criterios: el valor del caudal natural (no tiene sentido proponer un caudal mínimo ecológico que supere al que circula naturalmente); que sigan una pauta lógica en función de la superficie de cuenca drenada, es decir, que el caudal sea mayor en las estaciones de menor altitud. Por tanto, deseamos el criterio del 80% del hábitat máximo, pues como en el caso de los hidrológicos por el percentil 15 su régimen ecológico exceden a las aportaciones naturales actuales.

Atendiendo a este criterio de cambio de pendiente, se diseña el régimen de caudales con el objetivo del régimen natural mensual volviendo a utilizar la raíz cuadrada de la proporción de cada mes con el caudal mensual mínimo (factor de variación 1 en los Planes Hidrológicos). Aunque el régimen de caudales histórico de antes de la construcción del embalse de El Portillo debería de ser mejor pues sin duda es a la que las comunidades fluviales del Castril están evolutivamente adaptados, hemos utilizado el de la simulación de entradas al embalse, ya que la realidad es que se han perdido recursos y debemos ser realistas. Los regímenes de caudales resultantes para las simulaciones del hábitat en el tramo de Castril y de Los Laneros se exponen en la figura 35.



A partir de aquí se proponen los regímenes de caudales basados en una pauta natural de, pues. En la figura 34 se representan dichos regímenes ecológicos propuestos por el método hidrobiológico.

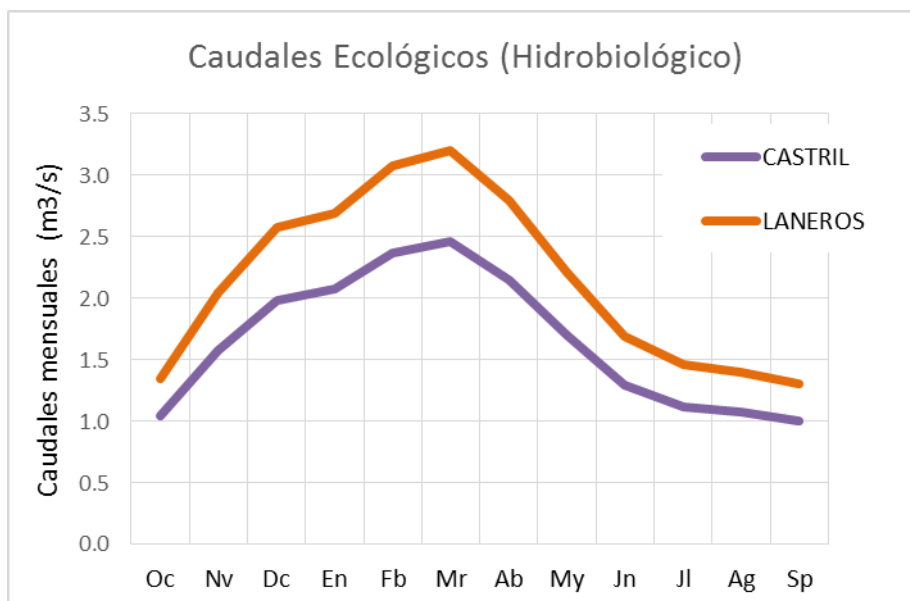


Figura 35.- Regímenes de caudales ecológicos propuestos mediante método hidrobiológico para los tramos del río Castril, a la altura de Castril (inmediatamente bajo la presa) y a la altura de Laneros.

Estos regímenes ecológicos representan el 68 % del régimen natural aguas debajo de la presa del El Portillo (Castril) y el 88% a la altura de Laneros. Sin embargo, dado que a la altura de Los laneros el río Castril drena una mayor cuenca vertiente y ha recibido afluentes (Arroyo Trillo y Arroyo de los Granadinos) y afloramientos de aguas que manan de los acuíferos superficiales, el caudal natural a la altura de los Laneros es mayor, y por tanto esta proporción del Caudal ecológico representa sólo el 74 %.

En la tabla 19 se exponen los valores de caudales mensuales (m³/s) que cuantifican los regímenes ecológicos de caudales propuestos para el tramo de Castril y de Los Laneros calculados por ambos métodos (hidrológicos e hidrobiológicos). Se puede pensar que estos regímenes de caudales ecológicos representan una proporción alta de su régimen natural, pero debemos tener en cuenta que el río Castril está ya regulado de forma natural por la naturaleza kárstica de las Sierras de Cazorla y Segura de donde drenan sus aguas, por otro, dada la importancia ecológica que su biodiversidad faunística y florística representan y por ser lo poco que queda en buen estado es un ambiente semiárido, merecen un esfuerzo de conservación.

Tabla 19.- Propuestas de Regímenes Ecológicos de Caudales (m<sup>3</sup>/s) para el río Castril a la altura de las localidades de Castril y de Los Laneros, calculados por el método Hidrobiológico (cambio de pendiente, 54% HPU<sub>max</sub>) y por el Hidrológico (media móvil de 21 días).

Hidrológico		Oc	Nv	Dc	En	Fb	Mr	Ab	My	Jn	Jl	Ag	Sp	Qm
Castril	Media movil-21	0.83	1.26	1.59	1.66	1.90	1.97	1.72	1.36	1.04	0.90	0.86	0.80	1.32
Laneros	Media movil-21	1.13	1.54	1.82	1.87	2.08	2.12	1.84	1.45	1.11	0.96	0.96	1.01	1.49
Hidrobiológico		Oc	Nv	Dc	En	Fb	Mr	Ab	My	Jn	Jl	Ag	Sp	Qm
Castril	Cambio pendiente	1.04	1.57	1.98	2.07	2.37	2.46	2.15	1.70	1.30	1.12	1.08	1.00	1.65
Laneros	Cambio pendiente	1.35	2.04	2.58	2.69	3.08	3.20	2.80	2.21	1.69	1.46	1.40	1.30	2.15

## CONCLUSIONES

El régimen de temperaturas debajo de la presa (Ca-3) tiene sus máximos (17°C) a finales de Octubre, y los mínimos a mediados de enero (8°C). Las aguas de este tramo tienen una mineralización mínima de todo el río Castril.

El régimen de caudales que entran en el embalse tiene una variabilidad natural, mientras que las aguas que salen de la presa tienen una variabilidad 'ortogonal'. En cuanto a magnitud, en invierno los caudales que salen de la presa son inferiores a los que entran, mientras que en verano son mayores que las entradas.

Las comunidades de macroinvertebrados del río Castril son ricas en especies (más de 84 taxa diferentes). Atendiendo a sus abundancias el orden Ephemeroptera es predominante (44%) seguido de Trichoptera (24%) y Diptera (16%). Por el contrario atendiendo a riqueza taxonómica, Trichoptera (24%) y Diptera (23%) son los órdenes preponderantes, seguidos de Coleoptera, Ephemeroptera y Mollusca. En la distribución longitudinal de los macroinvertebrados del Castril encontramos que los tricópteros y plecópteros disminuyen aguas abajo, mientras que efemerópteros y dípteros aumentan su predominancia aguas abajo.

Las abundancias de macroinvertebrados son mucho mayores aguas arriba del embalse que aguas abajo, y sus valores mínimos corresponden al tramo inmediatamente aguas debajo de la presa (Ca-3). La estructura de la comunidad del macrobentos (riqueza, diversidad y equitabilidad) es más compleja en los tramos altos y justo debajo de la presa que en los tramos bajos (Ca-4 y Ca-5).

Las comunidades de peces del río Castril tienen una composición dominada y en exclusiva por la trucha, salvo en la estación más baja (Ca-5). En este último tramo predominan barbos y bogas, acompañados por cachos, calandinos, gobios, colmilleja y trucha. Las densidades de las poblaciones trucheras oscilan entre 100 y 3400 individuos por Hectárea. El tramo inmediatamente aguas abajo del Embalse de El Portillo (Castril) es el que tiene mayor densidad, mientras que las menores densidades las encontramos en Los Llaneros (debido a la canalización del tramo). En cuanto a su estacionalidad las densidades mayores se han encontrado durante el muestreo de Septiembre, con excepción del tramo de Castril (Ca-3) que ocurre en Diciembre (relacionado posiblemente con la alteración de su régimen térmico causada por el embalse).

Las biomásas de las comunidades de peces muestran un gran desequilibrio con unos valores extraordinariamente grandes en Cortes de Baza (16g/m<sup>2</sup>), posiblemente asociado a las subidas de freza de los grandes ciprínidos desde la cola del Embalse del Negratin, mientras que las menores biomásas las volvemos a encontrar en Los Llaneros.

Comparando las densidades de trucha entre tramos, es en Castril (Ca-3), la situada justo agua abajo del embalse, la que obtuvo mayor densidad en marzo, septiembre y diciembre. En el muestreo de junio, Ca-2 fue la estación que presentó mayor densidad de trucha. La evolución temporal de las poblaciones de trucha encuentra menor densidad de media en el mes de junio que en cualquier otro mes de 2020, mientras que la mayor densidad de trucha se obtuvo en la campaña de septiembre.

El factor de condición corporal de las truchas muestra unos valores máximos en Septiembre, debido al desarrollo gonadal, con excepción del tramo inmediato aguas debajo de la presa (Ca-3) que tiene lugar en Diciembre, donde que parece retrasarse la freza en consonancia con el retraso a Octubre de las temperaturas máximas anuales.

## Evolución Temporal

Las condiciones del río Castril han cambiado desde el muestreo de 2001 con el actual. La regulación del embalse se ha intensificado, soltando caudales inferiores a los que entran en invierno, mientras que en verano los que sueltan han sido superiores. Ello ha provocado que las temperaturas del agua que suelta el embalse (Ca-3) hayan subido en dos grados (máximas de 14 a 16 °C (figura 14), y que su mineralización haya disminuido.

La composición de las comunidades de macroinvertebrados se ha reducido en nº de especies, habiendo desaparecido 27 taxones presentes en 2001, y por el contrario han aparecido 13 nuevos en 2020. Atendiendo a riqueza faunística por tramo de estudio vemos que disminuye en todos salvo en Cortes de Baza (Ca-5). En cuanto a la complejidad de estas comunidades vemos aumenta en todos los tramos menos en Cortijo de la Saludada (Ca-1).

La composición de la comunidad ictiológica ha cambiado grandemente en las dos estaciones más bajas. Efectivamente, la trucha que estaba ausente en estas estaciones las ha colonizado. En los Laneros la trucha se ha quedado como única especie, eliminando a las poblaciones de barbo que allí existían. Por el contrario, en Cortes de Baza, la presencia de trucha es minoritaria y se restringe a las condiciones invernales con aguas más frías. En Cortes de Baza siguen dominando las poblaciones de boga y sobre todo de barbo, pero, además, se han detectado poblaciones de cacho, gobio, calandino y colmilleja que en los muestreos de 2001 no se habían capturado. Por el contrario, en las estaciones Ca-1, Ca-2, y Ca-3 no ha habido cambios y, únicamente se encontraron truchas tanto en el estudio del 2001 como en el de 2020.

La densidad de trucha en las tres estaciones más altas disminuye casi a la tercera parte pasando de 3288 ind/ha en 2001 a 1149 ind/ha en 2020. En cuanto a la biomasa de trucha también disminuye en el mes de Junio, pero esta pauta no es tan clara en Septiembre.

## Estado Ecológico

El estado ecológico del Castril en la actualidad atendiendo al elemento biológico de macroinvertebrados varía entre bueno y moderado. Las tres estaciones más altas (Saludada,

Laneros y Castril) tienen tres muestreos en buen estado y uno en moderado, por lo que podemos inferir un buen estado, mientras que en Laneros tenemos tres muestreos en estado moderado y uno en el umbral, y en el tramo de Cortes de Baza el estado es moderado en los cuatro muestreos.

La evolución del estado ecológico en estos casi 20 años no ha tenido grandes cambios, pero su tendencia ha sido a descender. Vemos que en las tres estaciones del tramo alto hay un muestreo de verano/otoño que pasado de estado bueno a moderado, por tanto ha empeorado su estado ecológico. Las estaciones del tramo bajo del Castril mantienen su estado moderado.

Atendiendo al elemento biológico peces, utilizando el EFI+, los resultados de la evaluación del estado ecológico son: muy bueno en Puente de Lezar (Ca-2) y bueno en Ca-1, Ca-2 y Ca-4, mientras que en Ca-5 sigue moderado. Por tanto, Los peces dan un estado mejor que los macroinvertebrados en las estaciones Ca-2 y Ca-4.

## Efectos de la Presa de El Portillo

Este estudio ha podido comprobar como la regulación de caudales del Embalse del Portillo representa por un lado una barrera infranqueable que fragmenta las comunidades de los tramos altos y bajos, y por otro causa alteraciones en las condiciones del hábitat y en las comunidades de aguas abajo.

Los caudales que la presa suelta siguen unas pautas rectangulares muy diferentes de la variabilidad natural de aguas que entran. Además, las grandes avenidas que mantienen la diversidad de hábitats se laminan aguas debajo de la presa, como lo fueron las avenidas acontecidas en diciembre de 2019 y 2020. Por otra parte, comparando los caudales del Castril de antes de construir la presa y después, se ha detectado una pérdida de caudales en el río Castril de un 37 % de media, debido a que la presencia del el Embalse ha determinado la evaporación de agua desde su superficie (favorecido por el calentamiento climático) y su infiltración desde el fondo de su cubeta (favorecido por su geología Kárstica).

Aguas arriba del embalse el régimen natural de temperaturas con valores más bajos en invierno y más altos en verano se ve alterado aguas debajo de la presa, dando lugar a temperaturas más frías en verano que aguas arriba del embalse, acortándose su fluctuación térmica, tanto diaria como anual. Se aprecia un aumento de la temperatura, entre 2 y 4°C, aguas abajo del embalse en 2020 en comparación con las temperaturas de 2003 y 2005. Las temperaturas máximas anuales se retrasan a finales de octubre, mientras que aguas arriba tienen lugar en Agosto.

En 2001 las poblaciones de trucha aguas arriba del Embalse tenían de media mayor densidad y biomasa que la de aguas abajo (Ca-3), mientras que en la actualidad se produce lo contrario. En ello influye la ausencia de truchas grandes en los tramos altos pues estas se refugian en el embalse y solamente suben al río en época de freza. La mejor zona de alevinaje de truchas en el año 2020 se encuentra en Ca-3, inmediatamente aguas abajo del embalse. Es posible que las migraciones de freza aguas arriba se topen con la presa de El Portillo y ello justifique esta mayor densidad en Ca-3.

## Caudales Ecológicos

Se han diseñado unos regímenes ecológicos de caudales para los tramos de Castril (inmediatamente aguas debajo de la presa) y de los Laneros (en el tramo bajo meandriforme). Para cada tramo se han utilizado una metodología hidrológica basada en los caudales naturales, y otra metodología hidrobiológica basada en la simulación del hábitat físico. Los caudales ecológicos hidrológicos tienen un valor medio anual de 1,32 m<sup>3</sup>/s en el Castril que representa el 54% de su caudal natural; mientras que en Los Laneros su valor medio es 1.49 m<sup>3</sup>/s que representa la misma proporción de su caudal natural. Finalmente, el método hidrobiológico ha originado un caudal ecológico cuyo valor medio es de 2,65 m<sup>3</sup>/s que representa un 68% de su caudal natural en Castril; mientras en Los Laneros su valor medio es de 2,15 m<sup>3</sup>/s que representa el 74% de su caudal natural.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Alba-Tercedor, J. (2016) El Uso de Bioindicadores para evaluar la salud de los cursos de agua desde un punto de vista ecosistémico (Integridad ecológica/Estado Ecológico). Libro de revisiones: pg 99-109. Seminario Internacional en el Estudio de Comunidades Biológicas como indicadores de calidad del agua. Arequipa.

Alba-Tercedor, J., Jáimez, P., Miranda, J., García de Jalón, D., Lureña, J., Alonso, C., Seves, A., Gortázar, J., García, E., Martínez, P., Sánchez, L., Bouza, C., Castro, J., Gil, J. M., & Moleón, M. (2002). *Asistencia técnica para la valoración, seguimiento y protección de poblaciones faunísticas del río Castril*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía, Granada.

Alonso González, C., Gortázar, J., Baeza Sanz, D. & García de Jalón, D. (2008). Dam function rules based on brown trout flow requirements: design of environmental flow regimes in regulated streams. *Hydrobiologia*, 609(1), 253-262. Doi: 10.1007/s10750-008-9408-y.

Asociación para la Conservación Piscícola y de los Ecosistemas acuáticos del Sur - ACPES (2009). Localización, diagnóstico y protección de zonas de freza de ciprínidos autóctonos en las cuencas del Guadalquivir y Segura. Anexo 3/II, Río Castril. Cuenca del Guadalquivir subcuenca del Guadiana Menor. Provincia de Granada. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir.

Bovee, K., Stalnaker, C., Lamb, B. L., Henriksen, J. & Bartholow, J. (1995). *The instream flow incremental methodology: a primer for IFIM*. Biological Report, US Department of the Interior, National Biological Service. 29, 45 pp.

Bovee, K.D. (1982). *A guide to stream habitat analysis using the instream flow incremental methodology*. Instream Flow Information Paper 12. USDI Fish and Wildl. Serv. Washington. 248 pgs.

Castillo Martínez, P. A., Ruiz Quero, J. E. & Padilla Rodríguez, M. A. (2020). Diagnóstico de la implantación de los regadíos, preferentemente infradotados, en el altiplano de Granada. Grupo

de Desarrollo Rural del Altiplano de Granada. Carle, F. L. & Strub, M. R. (1978). A new method for estimating population size from removal data. *Biometrics*, 34 (4), 621-630. Disponible en: <https://www.jstor.org/stable/2530381>

Doadrio, I. (2001). *Atlas y libro rojo de los peces continentales de España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.

Dolédec, S., Dessaix, J. & Tachet, H. (1996). Changes within the Upper Rhône River macrobenthic communities after the completion of three hydroelectric schemes: anthropogenic effects or natural change?. *Archiv für Hydrobiologie*, 136 (1), 19-40. Doi: 10.1127/archiv-hydrobiol/136/1996/19. Schweizerbart.

Franco Ruíz, A., Rodríguez de los Santos, M. (2001). *Libro rojo de los vertebrados amenazados de Andalucía*. Sevilla: Consejería de Medio Ambiente Junta de Andalucía.

Freyhof, J., & Brooks, E. (2011). *European Red List of Freshwater Fishes*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

García Codrón, J. (1994). El impacto climático de los embalses cantábricos. *Serie Geográfica*, 4, 33-42. <https://ebuah.uah.es/dspace/handle/10017/1031>.

García de Jalón Lastra, D., Mayo Rustarazo, M., Hervella Rodríguez, F., Barcelo Culebras, E. & Fernández Couto, T. (1993). *Principios y técnicas de gestión de la pesca en aguas continentales*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.

Gil Olcina, A. (1992). Desequilibrios hidrográficos en España y trasvases a la vertiente Mediterránea: utopías y realizaciones. *Investigaciones geográficas*, 10, 7-23.

Gortázar, J., Alonso, C., García de Jalón, D., Vizcaíno, P., Baeza, D. & Marchamalo, M. (2007). Spawning period of a southern brown trout population in a highly unpredictable stream. *Ecology of Freshwater Fish*, 16 (4), 515-527. Doi: 10.1111/j.1600-0633.2007.00246.x. Wiley.

Gortázar, J. (2015). *Reproducción y gestión del hábitat en poblaciones de salmónidos en el extremo meridional de sus distribuciones naturales*. Tesis Doctoral. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes, Universidad Politécnica de Madrid.

Hampe, A., & Petit, R. (2005). Conserving biodiversity under climate change: the rear edge matters. *Ecology Letters*, 8 (5), 461-467. Doi: 10.1111/j.1461-0248.2005.00739.x. Wiley.

Hervás-Gámez, C. & Delgado-Ramos, F. (2019). Critical Review of the Public Participation Process in Drought Management Plans. The Guadalquivir River Basin Case in Spain. *Water Resources Management*, 33 (12), 4189-4200. Doi: 10.1007/s11269-019-02354-0. Springer Science and Business Media LLC.

Larios López, J., Alonso González, C., Galiana-García, M. & Tierno de Figueroa, J. (2020). Driving factors of synchronous dynamics in brown trout populations at the rear edge of their native distribution. *Ecology of Freshwater Fish*, 30 (1), 4-17. Doi: 10.1111/eff.12554. Wiley.

Moral Martos, F., Cruz San Julián, J. J. & Rodríguez Rodríguez, M. (2005). Caracterización físico-química de las aguas subterráneas de la Sierra de Segura (Cordillera Bética). *Geogaceta*, 37, 83-86. Disponible en <https://sge.usal.es/archivos/geogacetas/Geo37/Geo37-21.pdf>.

Petersen, C. G. J. (1896). The Yearly Immigration of Young Plaice into the Limfjord from the German Sea. *Report of the Danish Biological Station*, 6, 5–84. Disponible en: <https://www.biodiversitylibrary.org/ia/reportofdanishbi06dans/#page/54/mode/1up>

Plata Bedmar, A., & Pérez Zabaleta, E. (1999). Estudio de la salinidad del agua del río Salado en relación con la construcción de la presa el Atance, Guadalajara. *Revista Digital Del Cedex*, (113), 17.

Ruiz-Ortiz, V., García-López, S., Vélez-Nicolás, M., Sánchez-Bellón, Á., Contreras de Villar, A. & Contreras F. (2021). Learning from hydrological and hydrogeological problems in civil engineering. Study of reservoirs in Andalusia, Spain. *Engineering Geology*, 282, artículo 105916. Doi: 10.1016/j.enggeo.2020.105916.

Solana, J., D. Garcia de Jalon, D. Pont, P. Bady, M. Logez, R. Noble, R.Schinegger, G.Haidvogel, A. Melcher & S.Schmutz (2009). Manual for the application of the new European Fish Index – EFI+. A fish-based method to assess the ecological status of European running waters in support of the Water Framework Directive. EFI+ CONSORTIUM. June 2009.

Steffler, P., Waddle, T., Ghanem, A., Katopodis, C. & Locke, A. (2000). Comparison of one and two-dimensional open channel flow models for a small habitat stream. *Rivers*, 7(3). 205-220.