

PRIMER INFORME PARCIAL

# **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, Carlos Alonso González, Ana Cabrejas  
Carazo, Elsa García Barrera y Javier Gortazar**

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Departamento de Sistemas y Recursos Naturales  
Grupo de Hidrobiología

## PRIMER INFORME PARCIAL

# 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  
Carlos Alonso González  
Ana Cabrejas Carazo  
Elsa García Barrera  
Javier Gortazar

### INTRODUCCIÓN

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.

El Informe necesita de repetir los muestreos de peces y macroinvertebrados en los mismos cinco puntos de muestreo en que se basó la Asistencia Técnica para la Valoración, Seguimiento y Protección de Poblaciones Faunísticas del río Castril en 2002 realizado por la Universidad de Granada. Ello nos permitiría ver la evolución, especialmente debajo de la presa, de su estado ecológico para valorar el impacto de la regulación de caudales a que se ha visto sometido. 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 designarán una propuesta de régimen de caudales ecológicos para los tramos afectados. Por tanto, este informe consta de dos partes diferentes: 1) Evaluación y seguimiento del estado ecológico del río Castril; 2) Diseño de régimen Ecológico de caudales.

## Contenido

Evaluación y seguimiento del estado ecológico del río Castril .....	3
METODOLOGÍA .....	3
Macrobentos.....	3
Peces .....	3
Estaciones de muestreo.....	4
RESULTADOS.....	6
Macroinvertebrados bentónicos .....	6
Las Comunidades de Peces .....	8
DISEÑO DE CAUDALES ECOLÓGICOS .....	11
Método Hidrobiológico.....	11
Caudales Básicos Mínimos.....	20
Método Hidrológico.....	23
RÉGIMEN NATURAL DE CAUDALES.....	23
Regímenes ecológicos de caudales.....	25
Regímenes Ecológicos de Caudales hidrológicos.....	25
Regímenes Ecológicos de Caudales hidrobiológicos.....	26

## PARTE PRIMERA

# EVALUACIÓN Y SEGUIMIENTO DEL ESTADO ECOLÓGICO DEL RÍO CASTRIL

## 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 pretende hacer cuatro campañas en cada una de las estaciones del año invierno (primera quincena de Marzo), primavera (primera quincena de Junio), verano (primera quincena de Septiembre) y otoño (en Noviembre).

### Macrobentos

Para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos se realizarán muestreos semicuantitativos. Los muestreos cualitativos se realizarán 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 calculará la abundancia semicuantitativa y el porcentaje de presencia de los diferentes taxones en cada punto de muestreo.

### Peces

Se va a inventariar y caracterizar 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 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 mas 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.

La pesca eléctrica se realizará en un tramo cerrado de unos 100 m, 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 hay que proceder 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.

Con objeto de estimar el número total de peces existentes en cada tramo utilizaremos 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. Estas estaciones son coincidentes con las del muestreo de 2002 con objeto de dar mayor precisión al análisis comparativo.

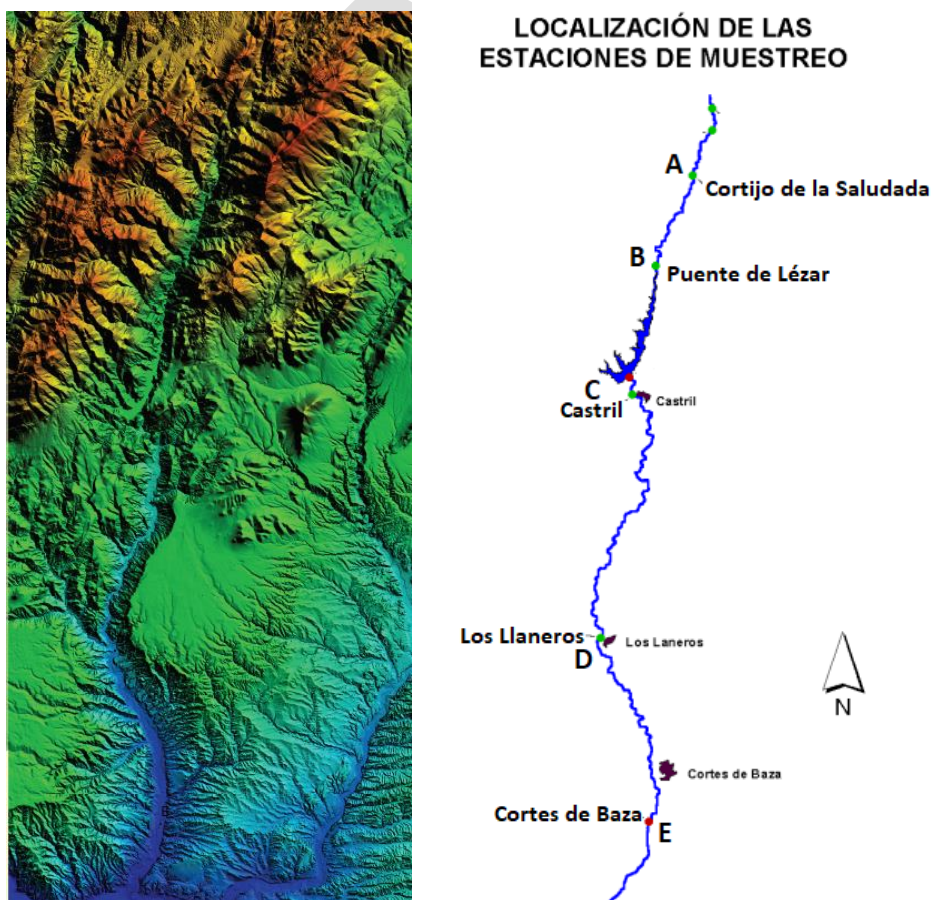


Figura 1.- Mapa altitudinal del río Castril y esquema de la distribución de las estaciones de muestreo

A: 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  
Distancia al nacimiento: 4,708 km  
Denominación de la estación: C-3  
Accesos: Pista que sale de la carretera comarcal C-330

B: 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

Distancia al nacimiento: 9,105 km

Denominación de la estación: C-4

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

C: 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

Distancia al nacimiento: 15,981 km

Denominación de la estación: C-5

Accesos: Carretera comarcal C-330

D: 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

Distancia al nacimiento: 31,56 km

Denominación de la estación: C-6

Accesos: Carretera que sale de Cortes de Baza

E: Cortes de Baza

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

Término municipal: Cortes de Baza

Altitud: 644 m

Distancia al nacimiento: 42,417 Km

Tipo de tramo: Libre

Límites del tramo: Presa de El Portillo - Embalse de Negratín

Longitud del tramo: 27,879 km

Accesos: Pista que sale de la carretera de Cortes de Baza a Campocámara

## RESULTADOS

### Macroinvertebrados bentónicos

En la tabla 1 se exponen las especies de macroinvertebrados a diferentes niveles taxonómicos (especie, género, familia o clase), junto con su distribución y abundancias en las estaciones muestreadas. En dicha tabla las abundancias corresponden a la suma de los dos muestreos realizados en este trabajo (2020), mientras que los del Informe de 2002 es la suma de los cuatro muestreos estacionales.

La variación de la abundancia y riqueza taxonómica de las comunidades de macrobentos a lo largo del río Castril en los dos muestreos realizados se exponen en la figura 2. Puede observarse como las abundancias en ambos muestreos disminuyen desde cabecera hasta debajo de la presa del Protillo (Castril), mientras que en Cortes de Baza las abundancias son mucho mayores en Junio que en Marzo. La riqueza se mantiene alta en los tramos altos (Saludada y Lezar) con un ligero repunte en aguas debajo de la presa (Castril) para disminuir en los tramos bajos (Llaneros y Cortes).

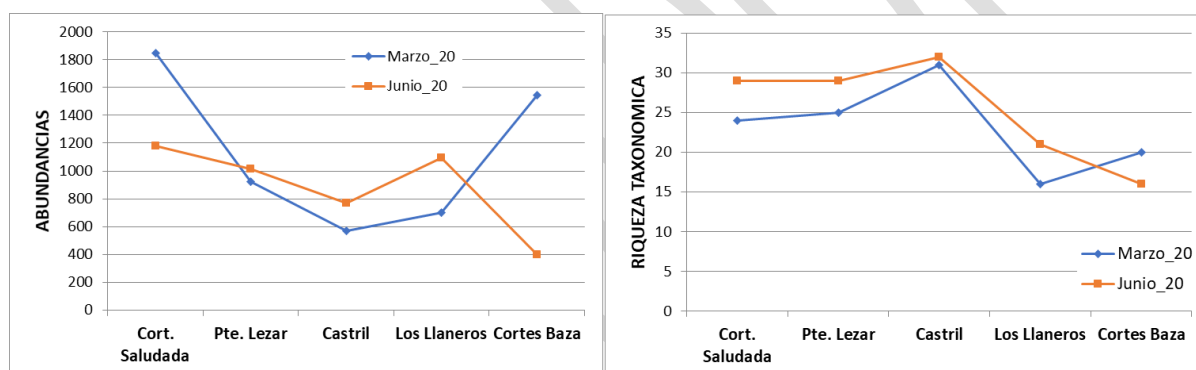


Figura 2.- Cambios en abundancia y riqueza del macrobentos del río Castril a lo largo de su gradiente altitudinal en los muestreos realizados para este informe (Marzo y Junio de 2020).

### Análisis de los cambios poblacionales de macroinvertebrados

Al comparar los datos de este primer informe con sólo dos muestreos con los datos del informe de Alba et al (2002) que incorpora cuatro muestreos, lo hemos hecho en términos relativos. En la figura 3 se exponen los cambios ocurridos en los 19 años transcurridos en términos de abundancia de individuos y de riqueza taxonómica. Observamos, pocas diferencias entre ambos muestreos en los datos de riqueza, mostrando la misma pauta altitudinal que hemos comentado en 2020 con un ligero máximo en Castril.

Tabla 1.-Composición y abundancia de las comunidades de macroinvertebrados. Comparativa de los muestreos del año 2002 con el actual.

Clase/Orden	Familia/Especie	2002					2020						
		Salud	Lezar	Castril	Llaneros	Cortes	Salud	Lezar	Castril	Llaneros	Cortes		
Oligochaeta	Lumbricidae	18	26	38	2	117							
Hirudinea	Erpobdellidae	1	4	5			1	3					
	Glossiphoniidae			2					1				
	<i>Ancyclus fluviatilis</i>	1		1									
Gasteropoda	<i>Potamopyrgus antipodarum</i>			23	1			1	97	2	2		
	<i>Radix</i> sp.			4					20				
	<i>Physa</i> sp.			6	1	4			1				
	<i>Gyraulus</i> sp.					1			2				
	Sphaeriidae			4					2				
Hydracarina	Hydracarina	4	5	7	5	11			1				
Isopoda	Asellidae								1				
Anfipoda	<i>Gammarus</i> sp.	21					3		1				
Ephemeroptera	<i>Acentrella sinaica</i>						644	123	6	281	551		
	<i>Baetis</i> sp.	181	222	206	343	297	302	480	179	307	300		
	<i>Centroptilum</i>	2	8	1									
	<i>Cloeon</i>			20									
	<i>Procloeon</i>			8									
	<i>Pseudocentroptilum</i>		4										
	<i>Caenis</i> sp.		5	5	10	19		2	54	31	18		
	<i>Torleya nazarita</i>										17		
	<i>Ephemerella</i> sp.	10	6	4			134	174	40	35	5		
	<i>Serratella</i>	7	3	35	13	11							
	<i>Ephemera danica</i>	2	2										
	<i>Ecdyonurus</i> gr. <i>ruffi-wautte</i>	10	23	2	15	4	28	102	8	107	4		
	<i>Epeorus</i> sp.	8	11				41	100					
	<i>Rhithrogena</i> sp.	10	28	2	1		137	106			1		
	<i>Habrophlebia eldae</i>			3			1	10	7				
	<i>Oligoneuriella marichuae</i>			3	14	4			2	749	14		
	<i>Boyeria irene</i>			1	4					2	5		
	Odonata	<i>Cordulegaster</i>	1	2									
		<i>Onychogomphus uncutus</i>										1	
		<i>Calopteryx</i>				2							
Plecoptera	<i>Leuctra maroccana</i>	11	16				3	1					
	<i>Nemoura</i> sp.	5							2				
	<i>Protonemura meyeri</i>						2		1				
	<i>Dinocras cephalotes</i>	26	50	23		1	77	69	4	2			
	<i>Perla</i> sp.	5	2				62	55	1				
Heteroptera	<i>Micronecta scholtzi</i>		1	1		2		39					
	<i>Aquarius najas</i>	2	3	1	4	4	1	10					
	<i>Hydrometra stagnorum</i>	1											
	<i>Naucoris maculatus</i>				1								
	<i>Nepa cinerea</i>					1							
	<i>Notonecta maculata</i>			1									
	<i>Microvelia pigmea</i>				1								
	<i>Velia</i> sp.	2					1						
Coleoptera	<i>Dryops</i>				1	1							
	<i>Pamatinus</i>		2	1	3								
	<i>Agabus</i>	1		5		2							
	<i>Deronectes</i>				1								
	<i>Hydroporus</i>	1	4	1									
	<i>Nebrioporus</i>	1		10	1	3							
	<i>Oreodytes</i> sp.	16	7	4			1	3					
	<i>Stictotarsus</i>	4		1	1								
	<i>Elmis maugetii maugetii</i>	9	37	3	1		84	53	181	43	3		
	<i>Esolus</i> sp.	4	5				29	5					
	<i>Limnius</i> sp.	18	7				49	23	30	1	1		
	<i>Normandia</i> sp.		1		2	1	3	2					
	<i>Oulimnius</i> sp.		6									1	
	<i>Aulonogyrus striatus</i>				3	2						8	
	<i>Gyrinus dejeani</i>	1				1							
	<i>Oretochilus villosus</i>	1	2		17	6			2				
	<i>Halplius lineatocolis</i>		1	27		1							
	<i>Hydraena</i> sp.	1					7						
	<i>Oethebius</i>	3											
	Trichoptera	Hydrophiliidae			1							1	
<i>Micrasema</i> gr. <i>moestum</i>		35	45				787	165	424		1		
<i>Agapetus</i> sp.									15				
<i>Hydropsyche exocellata</i>						49						42	
<i>Hydropsyche instabilis</i>		30	18	19	5		90	56	43	8			
<i>Hydropsyche pellucidula</i>		2		6	4						6	1	
<i>Hydropsyche incognita</i>		5	38	7	23	7							
<i>Hydraptilla</i> sp.				16		4						1	
<i>Lasiocephala basalis</i>		47	48				59	13	2				
<i>Mystacides azurea</i>				6									
<i>Anomalopeterygella chauviniana</i>							16						
<i>Mesophylax aspersus</i>			1							1			
<i>Allogamus ligonifer</i>			11	5						7			
<i>Polycentropus</i> sp.				8						21			
<i>Metatype fragilis</i>		1	2										
<i>Rhyacophila meridionalis</i>		2							1				
<i>Rhyacophila munda</i>					1					5	5		
<i>Rhyacophila nevada</i>		11	10	7	2		19	36	12	17	17		
<i>Rhyacophila pascoei</i>				1	1								
<i>Sericostoma</i> sp.		31	42				83	21	1				
Diptera	<i>Atherix</i> sp.										2		
	<i>Atrichops</i>				1	1							
	<i>Liponeura</i> sp.	7	1				3						
	Ceratopogonidae	11	2	2	9	7	9	8	4	6	1		
	Chironomidae	196	450	565	568	352	321	237	98	141	914		
	Culicidae		1	12									
	Dixidae	2			4								
	Empididae	1		4	2				1				
	Limoniidae	5	18	6	13	5	3	12		3			
	Simuliidae	44	33	43	55	52	21	19	45	30	48		
	Tipulidae			5	6	6			1			1	
	Psychodidae	3	2	2									
	Stratiomyidae	3		1	1		8	1				1	
Tabanidae	1	3	7	3			1						



Por el contrario, en termino de abundancias (figura 3) encontramos diferencias acusadas, especialmente en el Cortijo de Saludada con un fuerte aumento y en Castril con una reducción marcada. Si nos fijamos en los cambios por las abundancias de especies/taxones en concreto (ver tabla 1), observamos que hay numerosas especies cuyas abundancias relativas han disminuido (*Baetis* sp., Lumbricidae, Simuliidae, *Hydropsyche incógnita*, *Lasiocephala basalis*, *Serratella*, Limoniidae, Hydracarina, *Dinocras cephalotes*, *Leuctra maroccana*, *Haliplus lineatocolis*, Tipulidae, *Nebrioporus*, Tabanidae, *Physa* sp., *Liponeura* sp., *Aquarius najas*, Psychodidae, Erpobdellidae, *Stictotarsus*, *Hydroporus*). Por el contrario, otras poblaciones han aumentado (*Perla* sp., *Epeorus* sp., *Potamopyrgus antipodarum*, *Ephemera* sp., *Elmis maugetii maugetii*, *Oligoneuriella marichuae*, *Micrasema gr. moestum*, *Acentrella sinaica*).

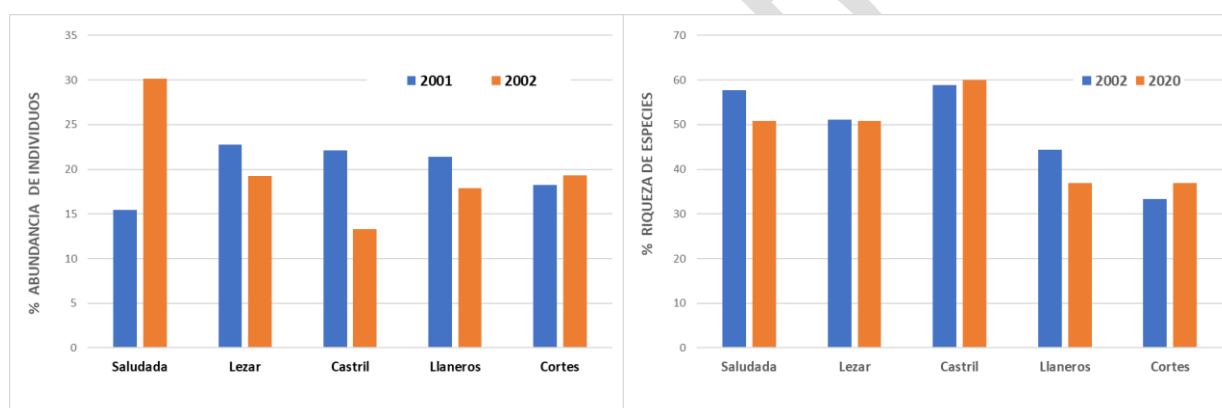


Figura 3.- Cambios en las comunidades del macrobentos a lo largo del río Castril en 19 años (2001 a 2020) en terminos de abundancia y de riqueza taxonómica.

## Las Comunidades de Peces

### Resultados del Muestreo realizado en 2020

La composición de especies encontrada en los muestreos de marzo y junio del río Castril 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 mas altas (Cortijo de la Saludada, Puente de Lézar, Castril y Los Laneros). En cambio, en Cortes de Baza, 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.

Las comunidades de peces del río Castril tienen unas densidades (figura 4A) que oscilan entre 100 y 1400 individuos por Hectárea. El tramo bajo del río (Cortes de Baza) es que tiene una mayor densidad debido probablemente a su proximidad a la cola del Embalse del Negratin, mientras que las menores densidades las encontramos en Los Llaneros (canalización). Hay que señalar que las densidades de peces que hemos encontrado en el Castril (aguas debajo de la presa del Portillo)

siempre ha tenido densidades mayores que los tramos de aguas arriba de dicho embalse (Cortijo de la Saludada y Lézar).

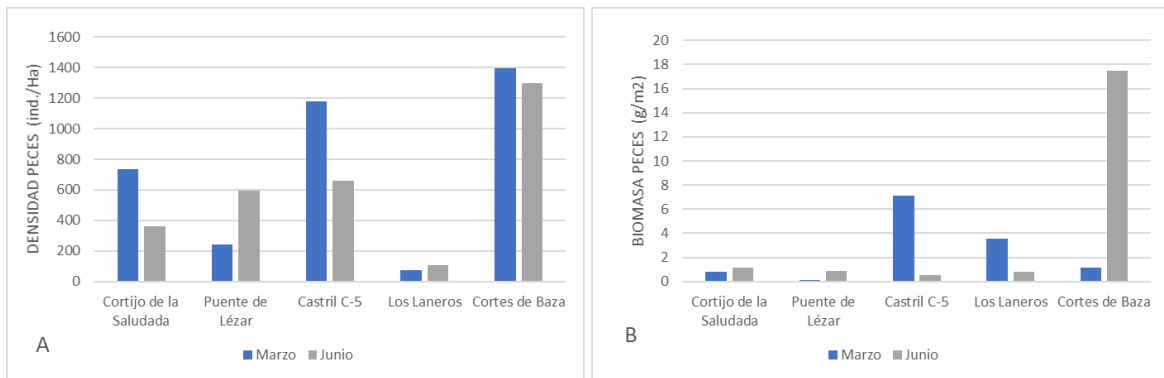


Figura 4.- Caracterización cuantitativa de las comunidades de peces del río Castril. A) en términos de densidades (individuos por Ha. B) en términos de biomasa (gramos/metro cuadrado).

Las biomásas de las comunidades de peces (Figura 4B) muestran un gran desequilibrio con unos valores extraordinariamente grandes durante el final de la primavera en Cortes de Baza, posiblemente asociado a las subidas de freza de los grandes ciprínidos y otros, aunque no tan grandes, a finales de invierno debajo de la presa del Portillo (Castril).

En cuanto a las poblaciones de peces que conviven en el tramo bajo (Cortes de Baza) muestran una estructura dinámica con densidades y biomásas (figura 5) bastante uniformes durante el invierno, pero en primavera-verano muestran un aumento de sus biomásas de barbo, boga y gobio, coincidentes con un aumento del tamaño medio individual, lo que indica la llegada de adultos para la freza.

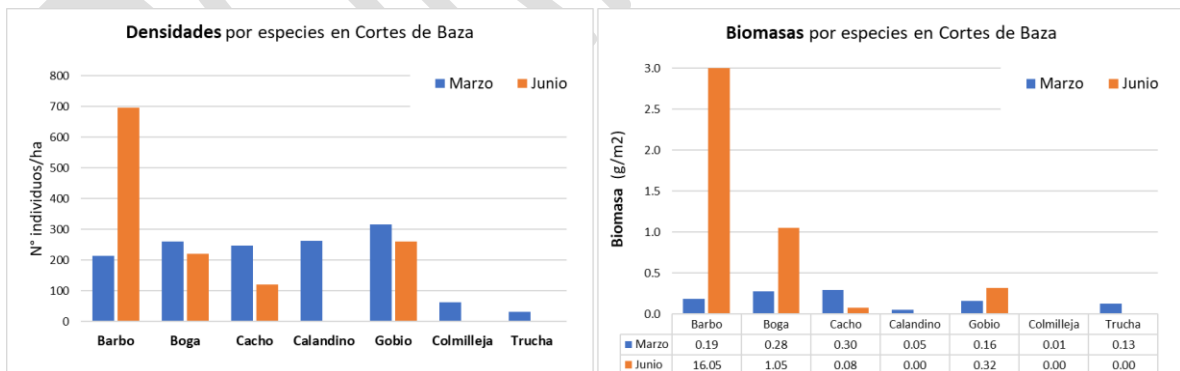


Figura 5.- Estructura de la comunidad de peces del tramo bajo del Castril, en términos de densidad (A) y de biomasa (B).

### Análisis de los cambios poblacionales de peces

Comparando los datos piscícolas obtenidos en estos dos muestreos con los correspondientes del trabajo de Alba et al. (2002) podemos cuantificar los cambios ocurridos en las comunidades de peces del río Castril durante estos 19 años. 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 Llaneros 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.

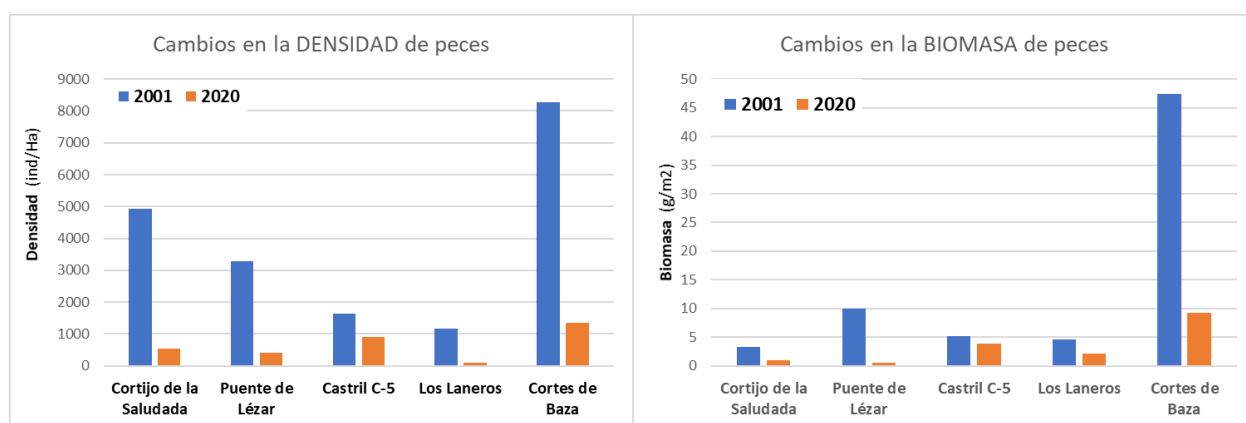


Figura 6.- Cambios en las abundancias poblacionales de peces a lo largo del río Castril desde el muestreo del 2001 (Alba et al. 2002), en términos de densidad como de biomasa.

En la figura 6 se exponen las estimaciones de abundancia medias de las comunidades piscícolas de los muestreos de 2001 (datos del informe Alba et al. 2002) y los del presente trabajo. En ambos casos se han utilizado la media de los muestreos correspondientes a dos muestreos (los de invierno y primavera expuestos en el apartado anterior). Como puede observarse 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.

## 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.

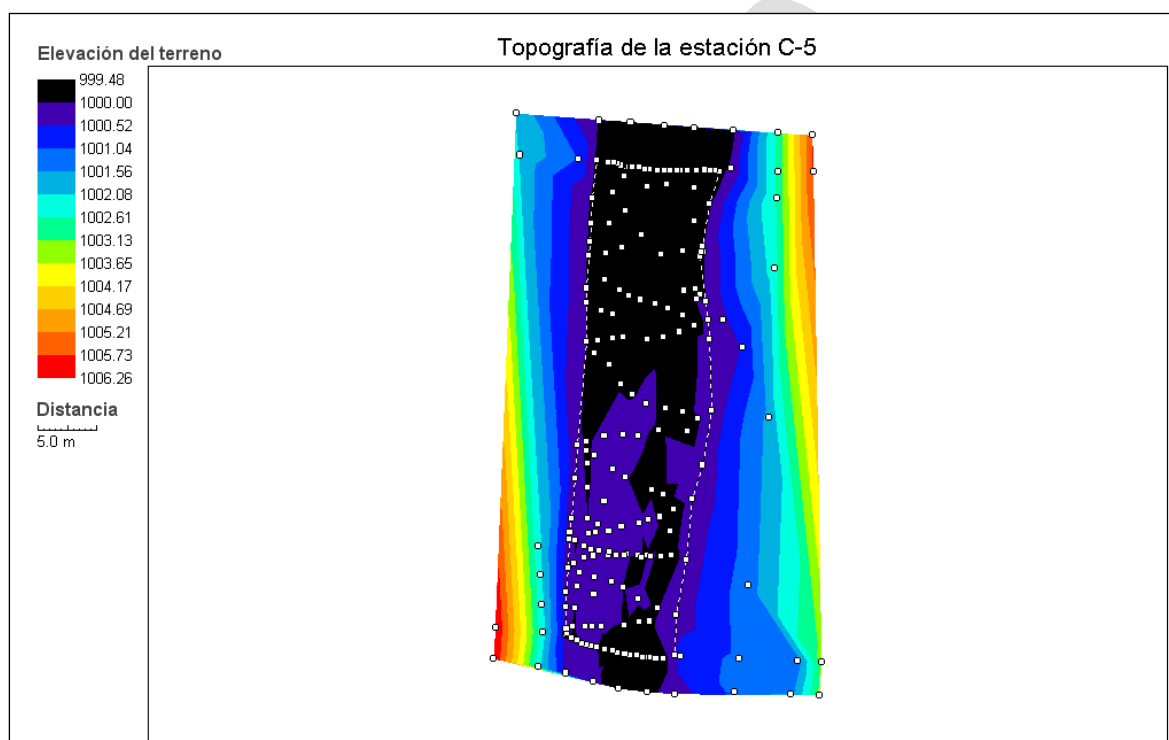


Figura 7.- Planta del tramo del río Castril en la estación C-5 (Castril).

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.

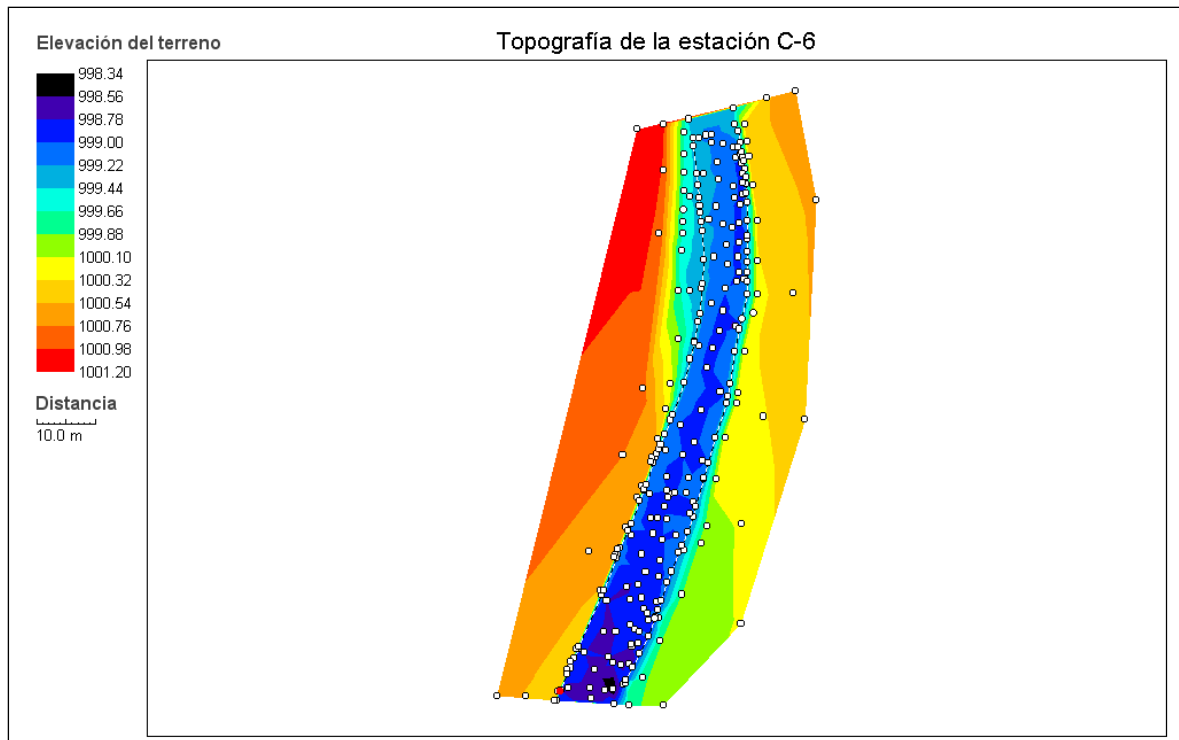


Figura 8.- Planta del tramo del río Castril en la estación de Los Laneros

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 2.- 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
Castril	0,56	1,36	1000,25	999,91
Los Laneros	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.

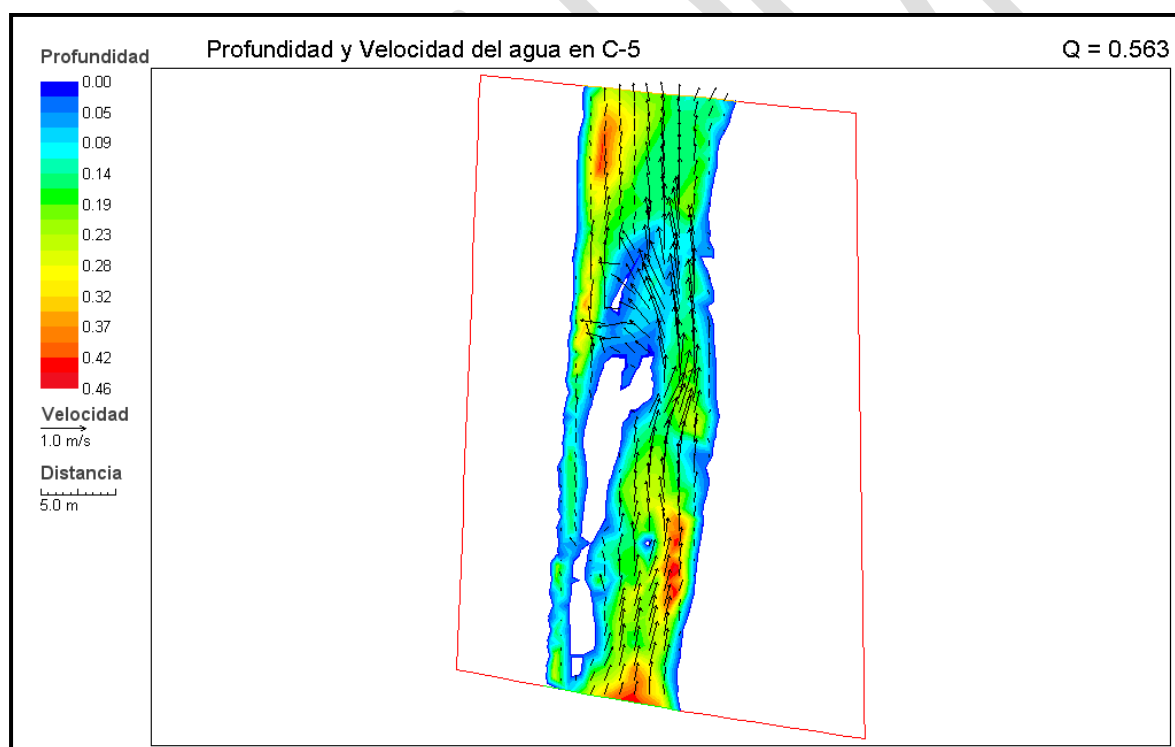


Figura 9.- Distribución de profundidades (en colores) y velocidades del agua (vectores) en la estación Castril C-5, para un caudal de  $0,563 \text{ m}^3/\text{s}$

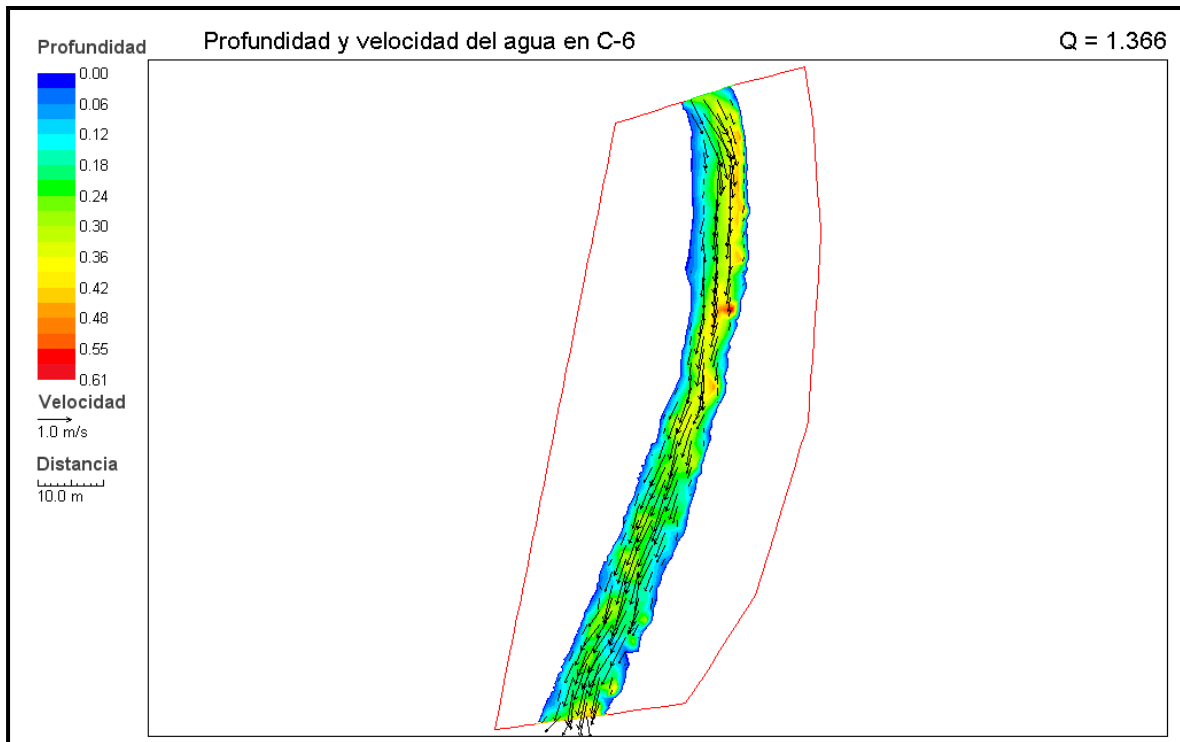


Figura 10.- Distribución de profundidades (en colores) y velocidades del agua (vectores) en la estación de Los Laneros, para un caudal de  $1,366 \text{ m}^3/\text{s}$  (medido durante la primera campaña).

#### 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.



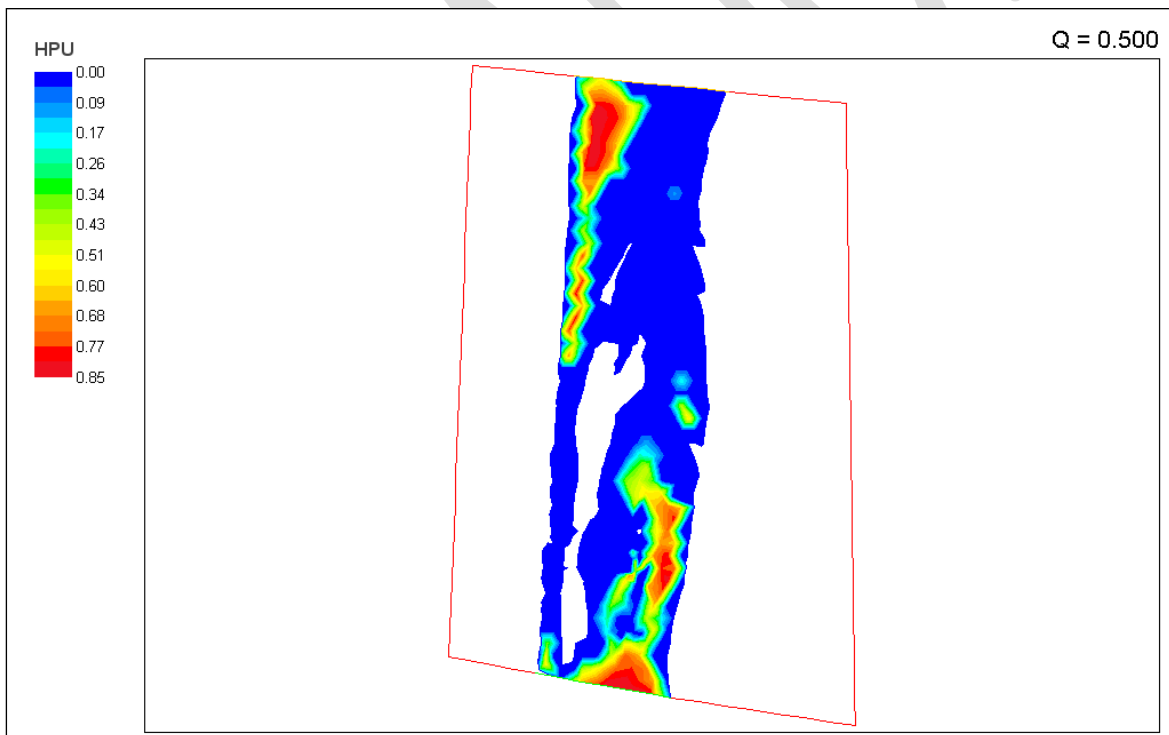
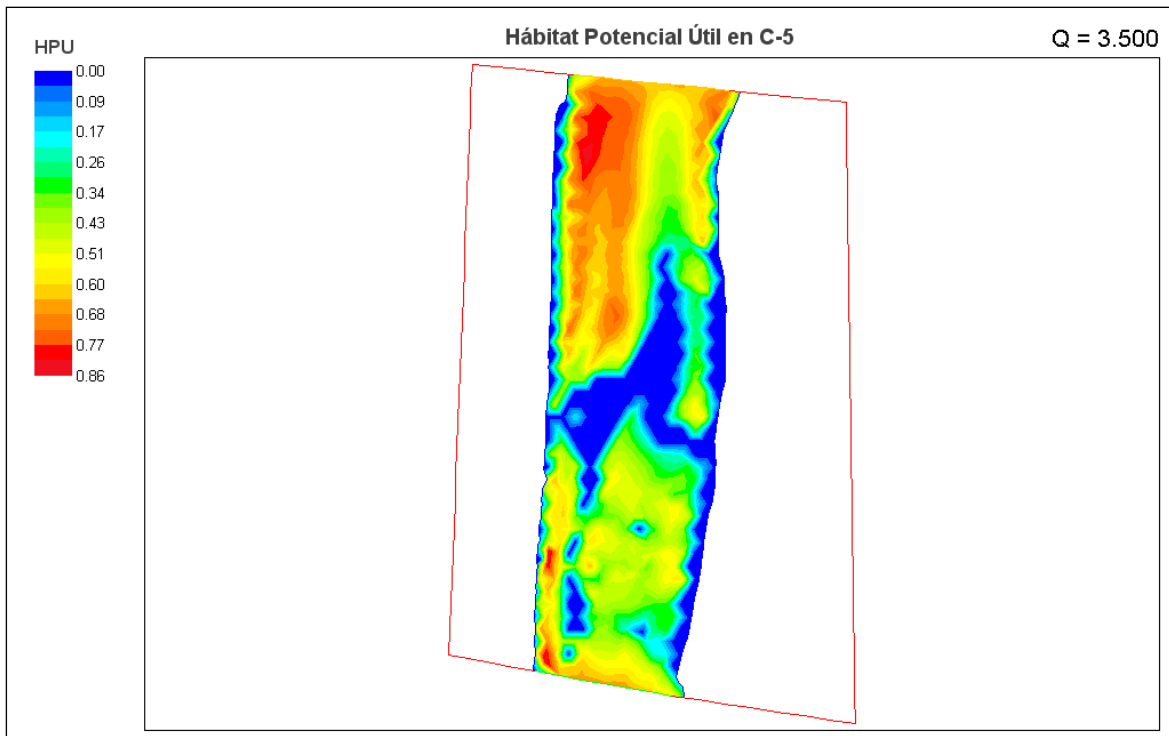


Figura 11.- Planos del tramo del río Castril en la Estación de Castril que representan dos simulaciones diferentes: un caudal alto ( $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y otro bajo ( $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ); en los que se refleja la distribución de Hábitat Potencial Útil para el adulto de trucha.

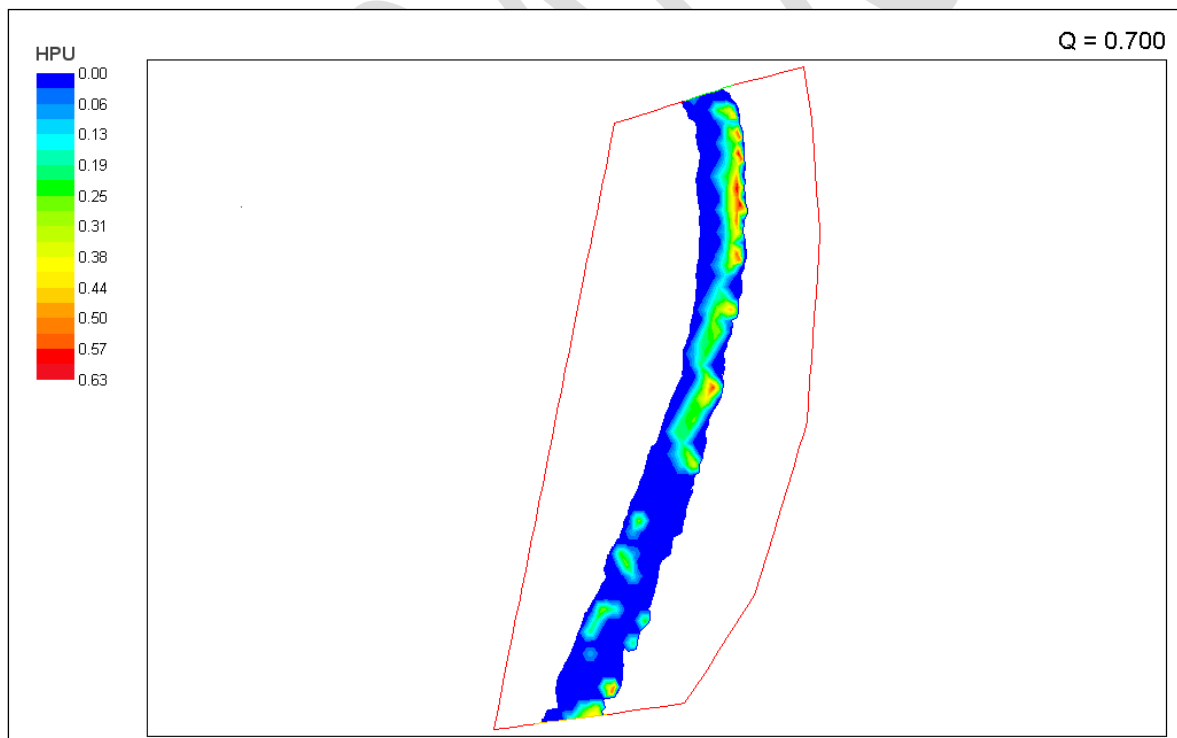
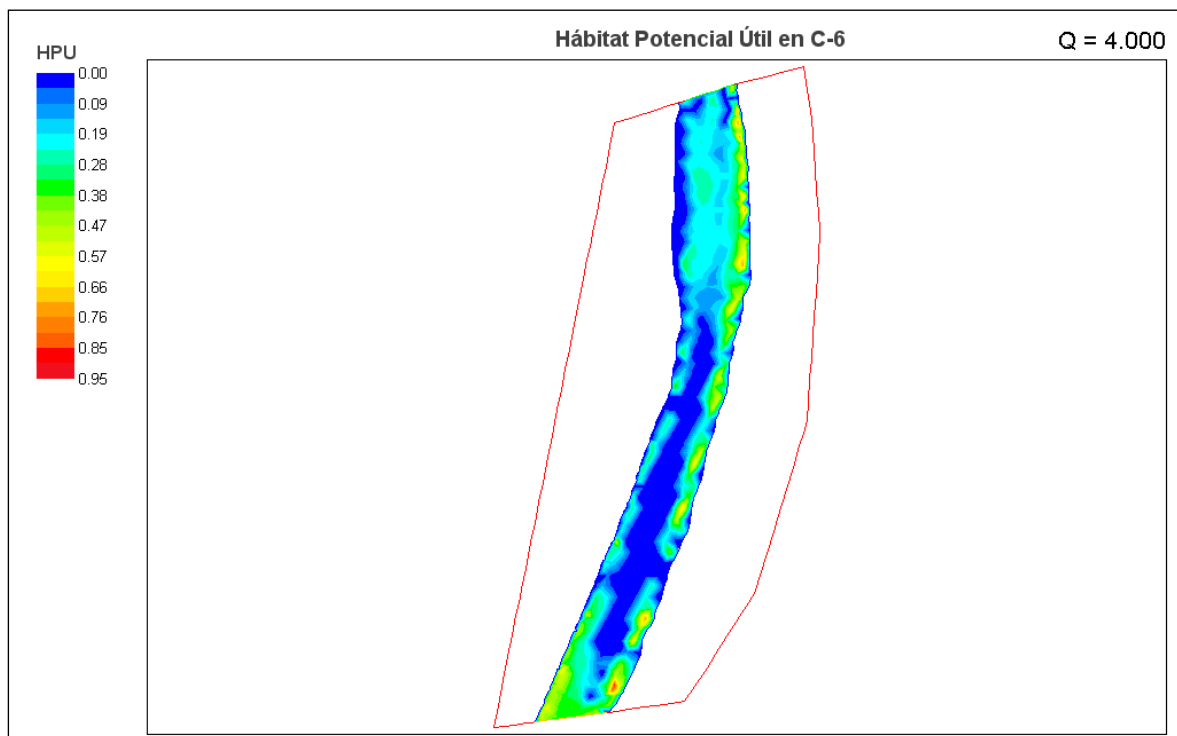


Figura 12.- Planos del tramo de Laneros que representan dos simulaciones diferentes: un caudal alto ( $4 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y otro bajo ( $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$ ); en los que se refleja la distribución de Hábitat Potencial Útil para el barbo adulto.

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.

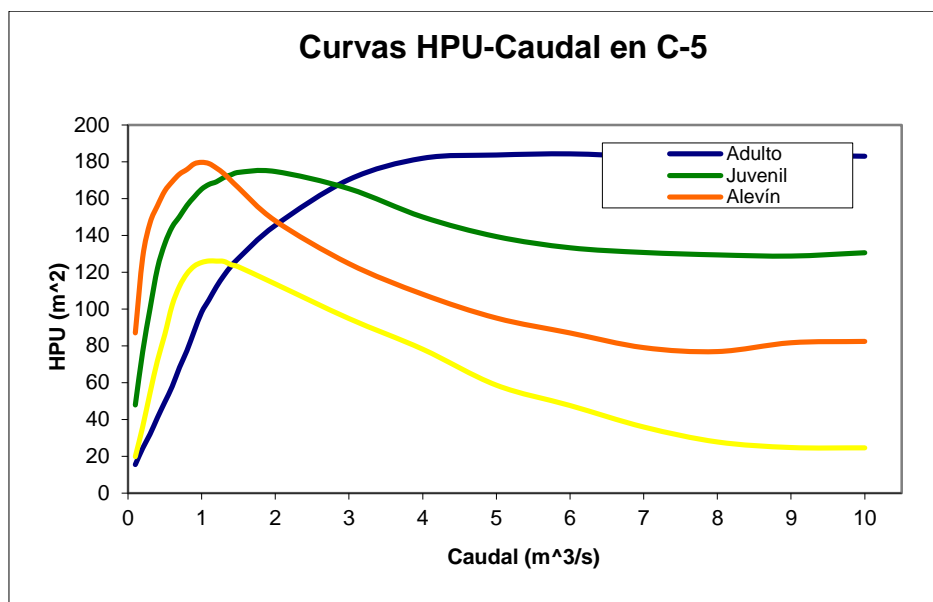


Figura 13.- Curvas de fluctuación del hábitat potencial útil en función del caudal circulante, para los cuatro estados de desarrollo de la trucha, en el tramo de Castril.

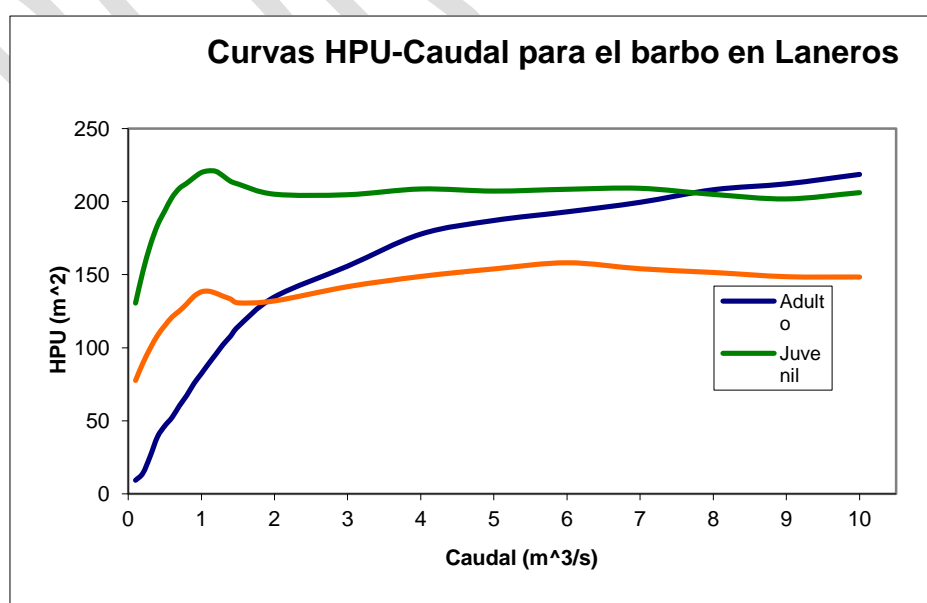


Figura 14.- Curvas de fluctuación del hábitat potencial útil en función del caudal circulante, para los tres estados de desarrollo del barbo, en C-6.

## 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.

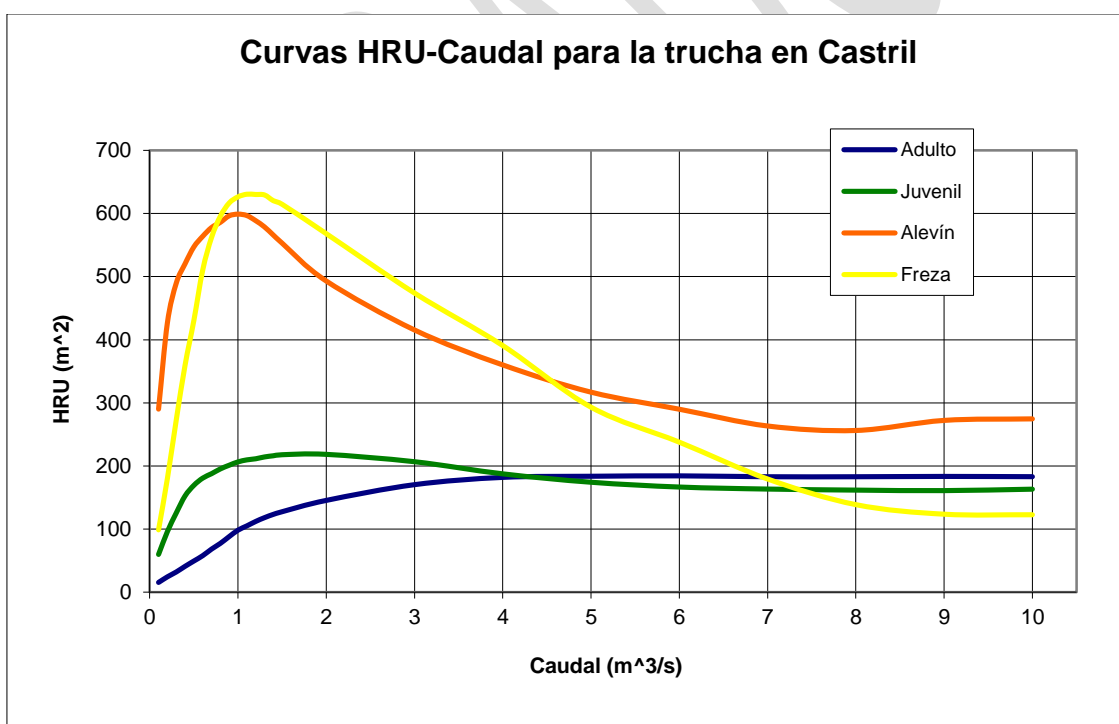


Figura 15.- Curvas de fluctuación del hábitat real útil en función del caudal circulante, para los cuatro estados de desarrollo de la trucha, en C-5.

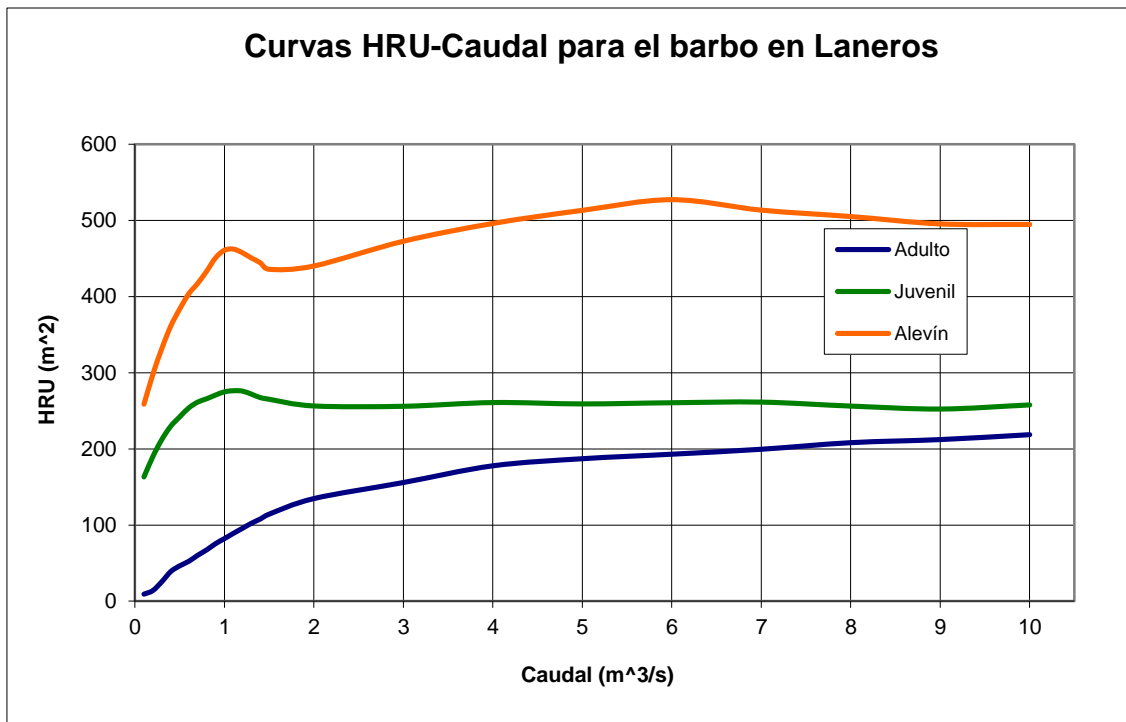


Figura 16.- Curvas de fluctuación del hábitat real útil en función del caudal circulante, para los tres estados de desarrollo del barbo, en Puente de Laneros.

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.

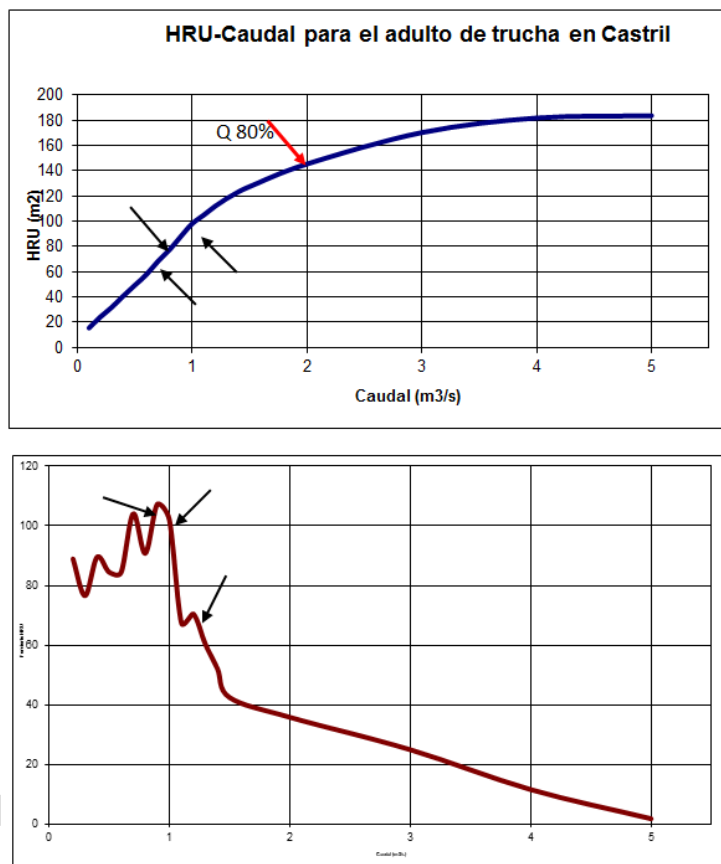


Figura 17.- Curva de fluctuación del hábitat real útil del adulto de trucha respecto del caudal circulante, junto con su derivada (pendiente), para C-5.

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. (ver tabla 3).

Tabla 3.- 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 4.- 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

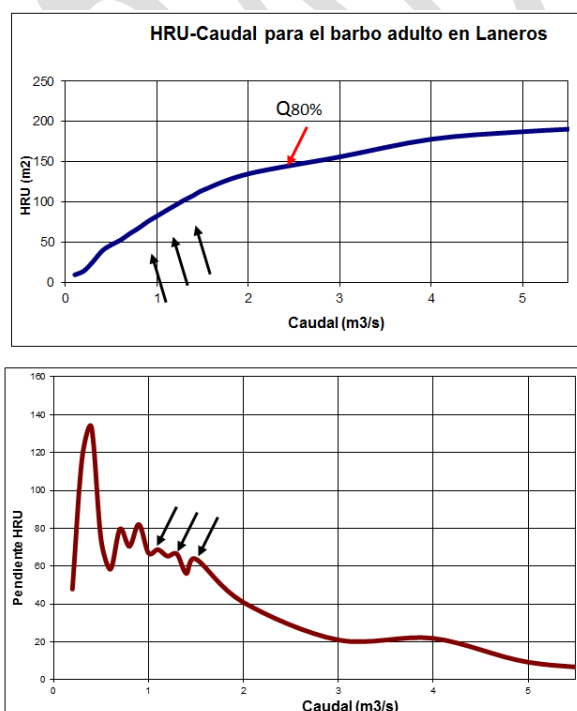


Figura 18.- Curva de fluctuación del hábitat real útil del adulto del barbo respecto del caudal circulante, junto con su derivada (pendiente), para el tramo de Laneros.

## 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 propongamos. 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 19.



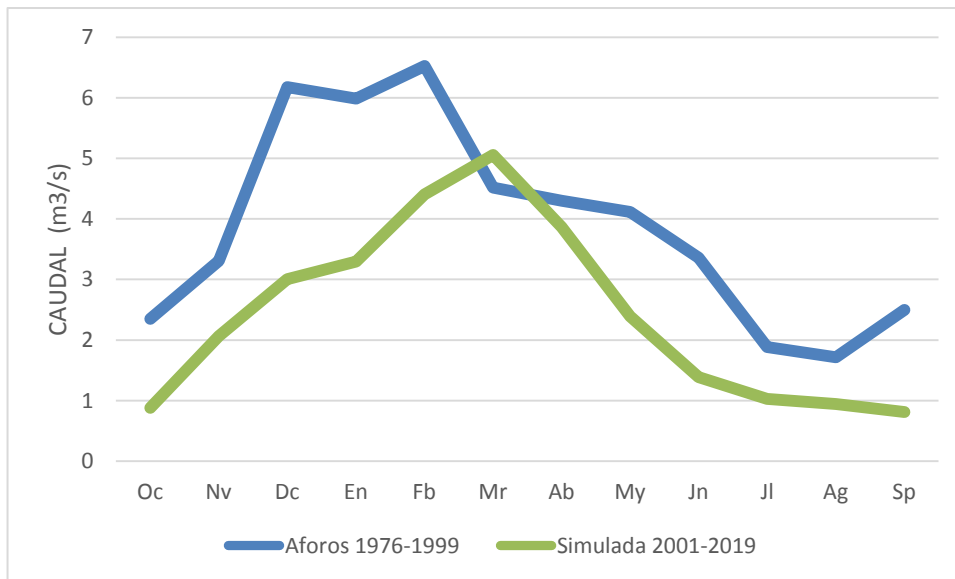


Figura 19.- regímenes de caudales medios mensuales de las series hidrológicas naturales seleccionadas.

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 mientras que el natural simulado actual se reduce a 2,43 m<sup>3</sup>/s. Esta reducción representa una pérdida del 38 % 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 19), 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 5.- 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>Media móvil 21 días</b>	<b>1,12 m<sup>3</sup>/s</b>	<b>0,70 m<sup>3</sup>/s</b>
<b>Percentil 15</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 potencial cuadrado en los meses restantes.

### Regímenes Ecológicos de Caudales hidrológicos

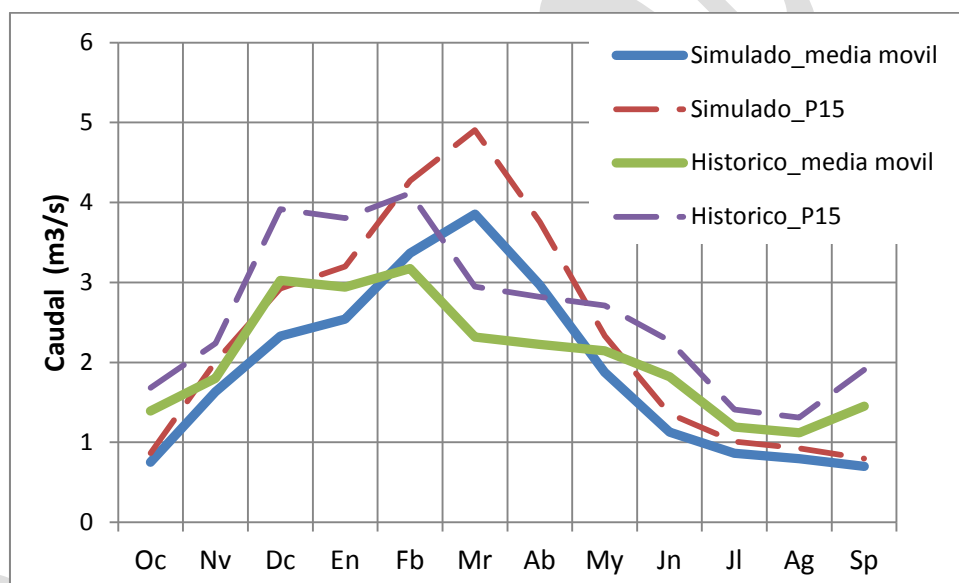


Figura 200.- Regímenes ecológicos de caudales propuestos según la serie hidrológica natural utilizada (histórica o simulada) y de los criterios de caudal mínimo (Media móvil o P15).

En la figura 20 se representan estos regímenes ecológicos en términos de caudales medios mensuales. Los caudales basados en el régimen histórico respecto al modulo de los caudales existes actualmente representan el 84% y 107% según los criterios percentil 15 y media móvil respectivamente. Los basados en el régimen natural simulado representan el 78% y 97% según los criterios percentil 15 y media móvil respectivamente.

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 Percentil 15, asumiendo que es muy posible no lograr la sostenibilidad del ecosistema fluvial natural a medio o largo plazo.

## Regímenes 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 3 y 4. 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 proponen los regímenes de caudales basados en una pauta natural de antes de la construcción del embalse de El Portillo, pues sin duda es a la que las comunidades fluviales del Castril están evolutivamente adaptados. En la figura 21 se representan dichos regímenes ecológicos propuestos por el método hidrobiológico.

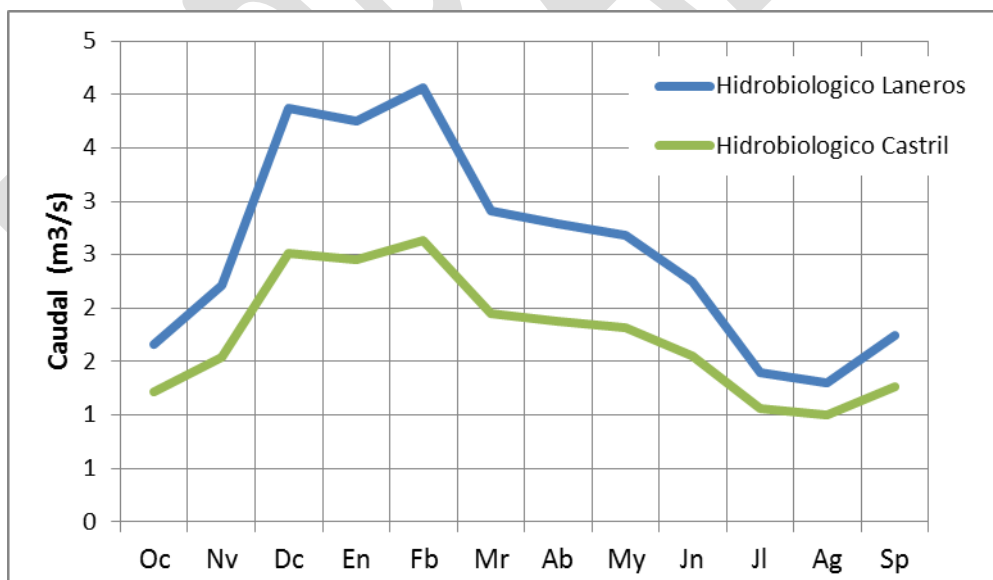


Figura 21.- Regímenes de caudales ecológicos propuestos mediante método hidrobiológico para los tramos del río Castril, a la altura de Castril (inmediatamente bajo la presa) y a la altura de Laneros.

Estos regímenes ecológicos representan el 72 % del régimen natural aguas debajo de la presa del El Portillo (Castril) y el 105% a la altura de Laneros, donde el río drena una mayor cuenca vertiente y ha recibido afluentes y afloramientos de aguas que manan de los acuíferos superficiales.

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.

BORRADOR