



## Anejo 5. **ESTIMACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES AMBIENTALES DEL SISTEMA CORNISA-VEGA DE GRANADA**

*Este trabajo ha sido realizado con la colaboración de la  
empresa ECOHIDRÁULICA*

# Estimación del régimen de caudales ecológicos en ríos del Noroeste de Sierra Nevada



EcoHidráulica S.L.

Noviembre 2006

**Nº proyecto: CAU03/06**

# Estimación del régimen de caudales ecológicos en ríos del Noroeste de Sierra Nevada

Autores:

Diego García de Jalón  
Pilar Vizcaíno Martínez  
Carlos Alonso González  
Domingo Baeza Sanz  
Javier Gortázar Rubial  
Miguel Marchamalo Sacristán

Noviembre 2006

## INDICE

INTRODUCCIÓN .....	3
OBJETIVOS, ANTECEDENTES Y ALCANCE DEL TRABAJO .....	6
DESCRIPCIÓN DE LAS CUENCAS .....	7
METODOLOGÍAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DE CAUDALES AMBIENTALES .....	15
METODOLOGÍA .....	16
RESULTADOS .....	27
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....	82

## 1.- INTRODUCCIÓN

Este estudio ambiental complementa los realizados para, el análisis de los recursos hídricos superficiales y subterráneos, las posibilidades de satisfacer los consumos, y el establecimiento de pautas de gestión conjunta del sistema hídrico integrado por las siguientes unidades Hidrológicas:

- Unidad 05.32 “Depresión de Granada”
- Unidad. 05.31 La Peza

La Unidad Hidrogeológica “Depresión de Granada” se extiende, de este a oeste, desde la ciudad de Granada hasta Huétor Tájar, localizándose en ambas márgenes del río Genil, y entre las poblaciones de Dílar-Alhama de Granada, por el sur, y de Piñar-Valderrubio por el norte. Pertenece íntegramente a la provincia de Granada.

La unidad hidrogeológica La Peza (05.35) se encuentra situada al noreste de la ciudad de Granada estando incluida en su totalidad dentro de esa provincia, limitándola, los ríos Bermejo y Fardes en su límite septentrional, la Depresión de Granada en su margen occidental, la Depresión de Guadix-Baza en su margen nororiental, la sierra de Padul al sur y Sierra Nevada por el sureste.

Esta unidad se sitúa íntegramente en la Cuenca del Guadalquivir, perteneciendo a los Sistemas de Explotación nº 3 “Alto Genil” y nº 6 “Hoya de Guadix”. En el extremo norte la escorrentía generada se dirige hacia la margen derecha del Río Fardes y hacia el Río Morollón, tributarios del Guadiana Menor y regulados por el embalse Francisco Abellán. En esa misma cuenca se sitúa el Río Alhama, que conecta, tras bordear la unidad, aguas abajo con el Río Fardes. El sector central de la unidad vierte directamente o a través de sus afluentes, Darro con su afluente el Dílar y Aguas Blancas, ríos estudiados en este trabajo, a la Cuenca del Río Genil. En éste último se sitúa el embalse de Canales, mientras que sobre el Río Aguas Blancas se sitúa el embalse de Quéntar.

Con respecto a la Unidad “Depresión de Granada” se localiza íntegramente en el sistema de explotación nº 3 “Alto Genil” . Se trata de una cuenca cuya única salida la constituye el Río Genil, en la zona próxima al municipio de Láchar, a la vez que forma el eje transversal de la Unidad Hidrogeológica con dirección E-O. El Río Genil y sus afluentes forman la red de drenaje superficial de la unidad.

Por su margen derecha recibe las aguas de los ríos Aguas Blancas, procedente de Sierra Nevada; Darro, Beiro y Cubillas, de Sierra Arana; Colomera y Velillos o Frailes, de Alta Coloma, y por su margen izquierda, los ríos Dílar y Monachil, también incluidos en este trabajo, procedentes de Sierra Nevada y los ríos Alhama y Cacán, de Sierra Tejeda-Almijara.

La explotación de estos sistemas es de gran importancia por abastecer entre otros los consumo de agua de la Capital Granada,. El trabajo en el que se enmarca este informa ambiental plantea pautas de gestión conjunta, analizando las posibilidades que presenta la aplicación de esquemas de uso conjunto en los sistemas.

Además de estos criterios de eficacia en la gestión, se pretenden incorporar otros criterios como son las restricciones de tipo ambiental, considerando las necesidades ambientales como una restricción a los usos del agua disponible, tal y como establece la ley de aguas.

El presente estudio tiene como objetivo integrar las necesidades ambientales, especialmente los requerimientos de caudal, en la planificación de los sistemas La Pez-Depresión de Granada, a partir de las mejoras que se esperan obtener de las estrategias de implantación de esquemas de uso conjunto.

El uso de las Obras Hidráulicas y los aprovechamientos que se derivan de estas, origina una regulación artificial de caudales que afecta profundamente a la fauna reófila y a la vegetación de ribera, no ya por las grandes fluctuaciones de nivel provocadas, sino también por el desfase temporal en que ocurren respecto a la fenología natural (Ward y Stanford, 1979; Petts, 1984).

Una de las soluciones propuestas para paliar estas afecciones es la consideración de que en los cauces regulados circulen, al menos, unos 'caudales ecológicos' o 'caudales mínimos medioambientales', además de que en estos se produzcan variaciones estacionales que sigan un patrón similar al natural.

Los caudales ecológicos por tanto serán una solución, con el objetivo de mejorar los tramos fluviales y tender hacia una situación próxima a la natural, previa a las intervenciones. Un caudal circulante por un cauce podría ser considerado como ecológico, siempre que fuese capaz de mantener el funcionamiento, composición y estructura del ecosistema fluvial que ese cauce contiene en condiciones naturales.

Dentro de la estructura a conservar se consideran las comunidades biológicas, en un río intervenido es imposible mantener intacta la riqueza biológica prístina del mismo, por lo que normalmente en un trabajo de restauración de procesos naturales en el sistema se busca una comunidad de referencia que los caudales ecológicos deben de mantener, y que son las comunidades 'naturales', que se han adaptado a la perturbación moderada que el Hombre ha ejercido sobre ellos. Esto plantea que nuestros objetivos del trabajo se van a focalizar en un grupo de especies y en sus comunidades

Por tanto es necesario conocer cual es la comunidad natural potencial del río, y decidir cuales van a ser las comunidades biológicas de referencia. Esto se realiza mediante muestreos de campo y también con ayuda de la información gráfica de su estado anterior, o por trabajos de referencia de su potencialidad biológica.

La siguiente cuestión a resolver, una vez que se han elegido las comunidades de referencia, es la relativa al límite máximo de aguas que se pueden extraer del río sin afectar a la conservación de sus comunidades naturales. En cualquier metodología el criterio para la fijación de caudales ecológicos y el régimen de caudales ecológicos que se deriva de ellos, reside en evaluar la flexibilidad del ecosistema o de sus comunidades a las perturbaciones: en efecto, las comunidades fluviales han evolucionado adaptadas a las fluctuaciones de caudales, respondiendo con cambios estructurales y funcionales a las disminuciones de caudal circulante. Lo que se busca es que minimizar la perturbación, en este caso la modificación del caudal, para que las poblaciones puedan adaptarse a la nueva situación sin un deterioro grave de su riqueza y diversidad.

En un tramo tan intensamente intervenido es difícil utilizar las metodologías hidrológicas de caudales históricos, puesto que es casi imposible conseguir un registro de años suficientemente largo que nos sirva de referencia del régimen natural de caudales. Por esta razón se ha preferido aplicar unas técnicas de determinación de caudales ecológicos fundamentadas en las características que adquiere el hábitat con la geomorfología de cauce actual, y los condicionantes que las variables del hábitat imponen a los seres vivos representativos de los tramos; y utilizaremos los registros históricos para evaluar y calibrar la magnitud de los cambios estacionales, la frecuencia de aparición de los acontecimientos hidrológicos más relevantes y las fechas en que estos se producen, en un régimen natural.

## 2. OBJETIVOS, ANTECEDENTES Y ALCANCE DEL TRABAJO

El estudio y el cálculo de caudales ecológicos han sido utilizados ampliamente en nuestro país, y algunos trabajos se han realizado en tramos pertenecientes a la cuenca del Guadalquivir.

Las metodologías más comúnmente utilizadas en nuestro país, y que más adelante en el trabajo desarrollaremos con detenimiento han sido dos: la metodología que utiliza las variaciones de **hábitat con el caudal** y las preferencias de la fauna por esos hábitat (método IFIM) (García del Jalón *et al*, 1993 y García del Jalón *et al*, 1997), y por otro lado los métodos hidrológicos de estudio de caudales históricos (Baeza y García de Jalón, 1998 y Baeza, 2002).

Los métodos hidrológicos que han venido siendo utilizados por la administración hidráulica son métodos muy simplistas, dónde se utiliza como valor de caudal ecológico un porcentaje fijo de la media anual. Este método es el único utilizado oficialmente por la administración en nuestro país, y en esta cuenca se ha aplicado, según su plan hidrológico, de la siguiente forma<sup>1</sup>:

*“Para asegurar la aptitud de los tramos para el mantenimiento de la vida piscícola se ha de garantizar la circulación de los caudales mínimos, en los puntos de control, que se indican en el cuadro siguiente”:*

PUNTO DE CONTROL	CAUDAL MÍNIMO (m <sup>3</sup> /s)
Río Guadalquivir aguas abajo de la presa de Pedro Marín	1,6
Río Guadalquivir aguas abajo de la presa de Mengíbar	4,4
Río Guadalquivir aguas abajo de la presa de El Carpio	7,2
Río Guadalquivir aguas abajo de la presa de Alcalá del Río	12,1
Río Genil en Puente Genil	1,5

Estos valores de caudales y el método empleado no tienen base científica y en muchos casos su finalidad es puramente paisajística, intentando que los ríos lleven algo de agua en zonas o puntos interesantes desde una perspectiva administrativa.

Los resultados de este trabajo van a servir para alcanzar los siguientes objetivos:

<sup>1</sup> Plan Hidrológico de la cuenca del Guadalquivir

Determinar las especies objetivo o de referencia sobre las que se va a apoyar los requerimientos de hábitat, que sirven para el establecimiento de caudales ecológicos.

Establecer un caudal mínimo ecológico para los tramos afectados por regulación en varios tramos de la cuenca del Genil.

Diseñar un régimen de caudales ecológicos, que tratando de aproximarse al régimen natural, considere las necesidades de agua y compatibilice estas con el mantenimiento y conservación del funcionamiento y la estructura del ecosistema fluvial.

Proponer soluciones para restaurar el funcionamiento natural del río, con lo que se consiga restablecer las comunidades que potencialmente deberían encontrarse en este con unos adecuados valores de complejidad estructural, biodiversidad y sosteniendo su integridad ecológica.

### **3. DESCRIPCIÓN DE LAS CUENCAS.**

El trabajo se ha llevado a cabo en 5 tramos pertenecientes a ríos que son todos tributarios del Genil, excepto el río Beas que es tributario del Darro. Los ríos sobre los que se han desarrollado los trabajos son: Darro, Beas, Aguas Blancas Monachil y Dilar, la localización de estos ríos y los puntos sobre los que se asentaron las estaciones de trabajo se encuentran en la siguiente figura.

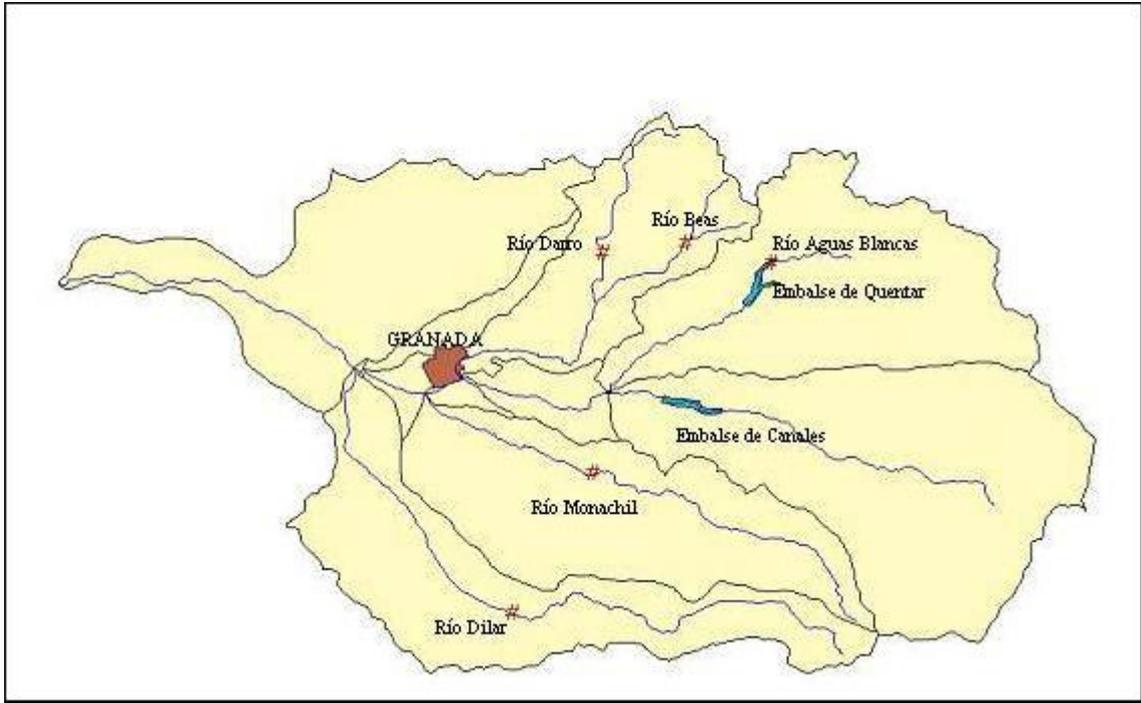
La cuenca del río Aguas Blancas se encuentra en el centro de la provincia de Granada, delimitada por la Sierra de Quéntar, perteneciente al Sistema Bético. El río está regulado por el embalse de Quéntar y tiene una longitud de 13,8 km hasta la cola del mismo, siendo la superficie de su cuenca de 139,5 km<sup>2</sup>. El Aguas Blancas es un afluente del Genil.

El río Monachil nace en los Borreguiles del Monachil a 2.640 m. de altitud sobre el nivel del mar y desemboca en la margen izquierda del río Genil aguas debajo de la ciudad de Granada a 650 m.

La longitud total de su cauce es de unos 25 km y su cuenca ocupa 94,7 km<sup>2</sup>. Por la margen izquierda recibe las aguas del Arroyo de Huenes, de 6 km de longitud y unos 15 km<sup>2</sup> de cuenca, a su paso por la localidad de Monachil.

El descenso de casi 3.000 m. en tan escasos kilómetros hace que el Río sobre todo

antes de su paso por las poblaciones, tenga un perfil bastante abrupto como es característicos de los río de sierra Nevada, con una pendiente media de más del 7 %.



**Figura 1. Superficie de la cuenca de los ríos en los que se localizan los tramos sobre los que se estimaron los caudales ecológicos, y localización de las estaciones de muestreo.**

El río Dilar tiene una longitud total de 23 km, con un desnivel de 2130 m; siendo la superficie de la cuenca de 61,3 km<sup>2</sup>. el perfil longitudinal del río presenta una forma de curva ligeramente cóncava, con pendientes entre moderadamente fuertes y muy fuertes en casi todo el perfil. El trazado del río se puede considerar recto, según su índice de sinuosidad.

Los ríos Darro y Beas son de menor entidad que los anteriores con cuencas más pequeñas y menores caudales. El primero se forma recogiendo agua de varios barrancos, como el Polvorite, Tejoneras y de las majadas del Buho, alrededor de los cerros del carbonero y del Pino a unos 1400 m. de altura, está muy degradado en cabecera, por detracciones de caudal y vertidos. En cuanto a su afluente el Beas nace también de la confluencia de los Barrancos de la Avanzadilla y del Puerto Blanco, tiene unos 4 km antes de llegar al pueblo de Beas, y a partir de aquí discurre otros 5 km. hasta desembocar en el Darro.

### **3.1 FAUNA Y FLORA**

Las cuencas de los ríos Monachil y Dilar son semejantes en cuanto a su composición vegetal., predomina el pastizal y matorral sin arbolado que se encuentra principalmente en la cabecera, con más del 50 % de la superficie total. Se localizan en altitudes comprendidas entre los 750 y los 3.482 m., el matorral lo forman varias especies de los géneros *Genista*, *Crataegus*, *Rosa*, *Berberis*, *Lavandula*, *Salvia*, *Juniperus*, *Cistus*, *Ruscus*, *Rosmarinus*, etc.. acompañado de varias herbáceas. Son destacables los endemismos como la Manzanilla real, el clavel de Sierra Nevada y el Te de la Sierra. Estos pastos son aprovechados por ganado ovino y caprino.

A continuación en importancia por superficie ocupada encontramos la superficie arbolada con especies forestales. La mayoría de estas masas son repoblaciones forestales predominando el pino, principalmente el pino silvestre, seguido del negral, también existen masas de monte constituidas por encinas rebollos y castaños. La superficie forestal con árboles es mayor en la cuenca del Monachil que en el Dilar, en la zona baja de las cuencas hay cultivos leñosos de secano con olivo y en mayor superficie regadío, también es destacable en la zona de huertas las repoblaciones de chopo.

Las cuencas correspondientes al Aguas Blancas, Darro y Beas contienen menor proporción de pastizal y de arbolado que las anteriores, son cuencas de menor altitud, el pastizal matorral representa aproximadamente el 25 % de estas cuencas, está formado principalmente por aromáticas y algunas pequeñas encinas, en cuanto a los bosques son de coníferas sobre todo de pino pinaster y halapensis.

En cuanto a los cultivos, la mayor superficie la ocupa la labor extensiva sin arbolado, son cultivos de cereal con el sistema productivo de año y vez, también hay arbolado en secano almendro, olivar y viñedo, y menor superficie de huertas.

A continuación hemos incluido una descripción de la vegetación potencial, por el interés informativo sobre las características climáticas y edáficas que aportan sobre la cuencas estudiadas.

#### **Piso termomediterráneo (vegetación de zonas bajas)**

Por debajo de los 700 u 800 metros de altitud, se desarrolla el llamado piso termomediterráneo. Pocas partes de esta franja de territorios no han sido cultivados, pero los estudios afirman que a esta zona correspondería a un encinar combinado con un matorral de lentisco (*Pistacia lentiscus*), enebros, candiles (*Aristolochia baetica*),

zarzaparrilla (*Smilax aspera*). También aparecen romerales (*Rosmarinus offinalis*), aulagares (*Ulex parviflorus*) y jarales.

### **Piso mesomediterráneo (vegetación de baja montaña)**

En esta franja de alturas, entre los 800 y los 1300 metros aproximadamente, son frecuentes el lentisco (*Pistacia lentiscus*), acebuche (*Olea europaea*) y zarzaparrilla (*Smilax aspera*). El encinar sobre suelos silíceos es pobre en especies; junto a la encina (*Quercus ilex*), enebros (*Juniperus*) y madreselva (*Lonicera etrusca*).

### **Piso supramediterráneo (vegetación de media montaña)**

Hasta los 1.900 metros aproximadamente se desarrolla el piso supramediterráneo, siendo las especies predominantes el melojo (*Quercus pyrenaica*), y en menor medida, el quejigo (*Quercus faginea*) y el arce (*Acer sp*); estas tres especies se desarrollan en formaciones boscosas. Más frecuentes son los encinares, que se sitúan generalmente entre los 1.300 y los 1.750 m. Tienen a desarrollarse tanto sobre suelos carbonatados como sobre rocas ácidas. Los encinares son dominados por la encina y, según el tipo de suelo y la altitud, arbustos como enebros (*Juniperus oxycedrus*), agracejo (*Berberis hispanica*), torvisco (*Daphne gnidium*), rusco (*Ruscus aculeatus*) y majuelo (*Crataegus monogyna*) sobre suelos básicos.

### **Piso oromediterráneo (vegetación de alta montaña)**

A Partir de los 1.900 metros, hasta los 2.800 metros, se desarrolla el piso oromediterráneo.

En este piso bioclimático se desarrollan pinares y sabinares. La vegetación está formada por especies de porte arbóreo y arbustivo. Pino silvestre (*Pinus sylvestris*), sabina rastrera (*Juniperus sabina*), y un matorral pulvinular (*Vella spinosa*, *Erinacea anthyllis*, *Bupleurum spinosum*).

Sobre suelos más evolucionados aparecen enebrales (*Juniperus communis*) y piornales (*Cytisus scoparius*), formando comunidades ricas en caméfitos fruticosos y hemicriptófitos (*Arenaria imbricata*, *Festuca indigesta*). También abunda la flora endémica: *Genista versicolor*, *Arenaria pungens*, *Potentilla nevadensis*.

En áreas calcáreas a mayor altitud (cabecera del río Dúrcal, Dornajo), y por la escasez de suelo, se desarrolla un espinal con sabinas y enebros, mezclado con un tomillar almohadillado, apareciendo especies como son *Sideritis carbonellis* y *Astragalus granatesis*.

### **Piso crioromediterráneo (vegetación de cumbres)**

Se desarrolla a partir de los 2.800 o 2.900 m. En este entorno se desarrollan los borreguiles (nombre que reciben en Granada los pastizales nevadenses de alta montaña o pastizales de montaña). Este tipo de vegetación (que también en parte se desarrolla en los estadios altos del piso oromediterráneo) presenta ciertas similitudes con la tundra ártica, y un elevadísimo número de endemismos.

### **Vegetación riparia**

La degradación de la vegetación riparia en Sierra Nevada es muy notable, siendo bastante difícil encontrar bosques de ribera en un razonable estado de conservación hoy en día. En áreas de rocas carbonatadas, la vegetación de río está formada principalmente por olmedas (*Ulmus minor*), choperas (*Populus alba*) y saucedas (*Salix spp.*). Sobre suelos ácidos se instalan alisedas (*Alnus glutinosa*), saucedas (*Salix atrocinerea*) y fresnedas (*Fraxinus angustifolia*).

### **FAUNA**

En cuanto a la fauna, de gran interés en su composición en esta zona se ha realizado la siguiente clasificación:

#### **Aves:**

Paloma bravía (*Columba livia*), paloma zurita (*C. oenas*), roquero rojo (*Monticola saxatilis*), roquero solitario (*M. solitarius*), avión roquero (*Ptyonoprogne rupestris*), vencejo real (*Apus melba*), collalba negra (*Oenanthe leucura*), verderón común (*C. spinus*), verdecillo (*Serinus serinus*), zorzal común (*Turdus phylomelos*), zorzal real (*T. pilaris*), zorzal charlo (*T. viscivorus*), perdiz (*Alectoris rufa*), abubilla (*Upupa epops*), mirlo común (*T. merula*), abejaruco (*Merops apiaster*), chotacabras pardo (*Caprimulgus ruficollis*), Pito real (*Picus viridis*), agateador común (*Certhia brachydactyla*), mito (*Aeghitalos caudatus*), reyezuelo listado (*Reyulus ignicapillus*), etc.

Rapaces: Cernicalo común (*Falco tinnunculus*), azor (*Accipiter gentilis*), gavián (*A. nissus*), mochuelo (*Athene noctua*) y escasas parejas de águilas perdiceras (*Hieraaetus fasciatus*), águilas reales (*Aquila chrysaetos*) y búhos reales (*Bubo bubo*).

**Mamíferos:**

Cabra montés (*C. pyrenaica*), comadreja (*Mustela nivalis*), garduña (*Martes foina*), lirón careto (*Eliomys quercinus*), zorros (*Vulpes vulpes*), topillo común (*Pitymys duodecimostatus*), liebre común (*Lepus europaeus*), conejo común (*Oryctolagus cuniculus*), jabalí (*Sus scrofa*), gato montés (*Felis silvestris*), zorro (*Vulpes vulpes*) y algunas especies de murciélagos.

**Reptiles:**

Víbora hocicuda (*Vipera latasti*), culebras (*Malpolon sp.*), lagarto ocelado de Sierra Nevada (*L. lepida spp. nevadensis*) y muchas especies de lagartijas.

**Anfibios:**

Sapo partero (*Alytes obstetricans*), sapillo moteado (*Pelodytes punctatus*), sapo corredor (*Bufo calamita*), sapo de espuelas (*Pelobates cultripes*), etc.

### 3.2 ANÁLISIS CLIMÁTICO

El estudio climático se ha realizado a partir de datos de tres estaciones meteorológicas. La localización de las estaciones meteorológicas origen de los datos han sido las de la siguiente tabla.

<b>Estación</b>	Gúejar-Sierra
<b>Estación</b>	Monachil
<b>Estación</b>	Darro
<b>Estación</b>	Dilar

Acorde con la mediterraneidad de los climas, la temperatura presenta en todas las estaciones máximos durante los meses de verano y mínimo en los de invierno. De forma semejante a las temperaturas, el valor y la distribución en el año de las precipitaciones responden a los caracteres climáticos generales de la región. Los meses de verano son secos, concentrándose las precipitaciones en el invierno y una

parte importante en el otoño y la primavera. Al tratarse de una zona de montaña en su mayor parte, una proporción de las precipitaciones cae en forma de nieve, esto se manifiesta principalmente en las cabeceras de los ríos Monachil y Dilar.

El clima existente se puede calificar de tipo Mesotérmico IV y Subhúmedo seco atendiendo a la clasificación de Thornthwaite (19).

Los valores medios son los siguientes:

- Precipitación media anual: 775 mm.
- Temperatura media anual: 15 °C.
- Lluvia útil anual: 448 mm.
- ETP anual: 794 mm.

Para la zona más meridional los valores medios serían:

- Precipitación media anual: 398 mm.
- Temperatura media anual: 15°C.
- E.T.P. (Thornthwaite) media anual: 724 mm.
- E.T.R. (Balance hídrico de agua en el suelo): 361 mm.

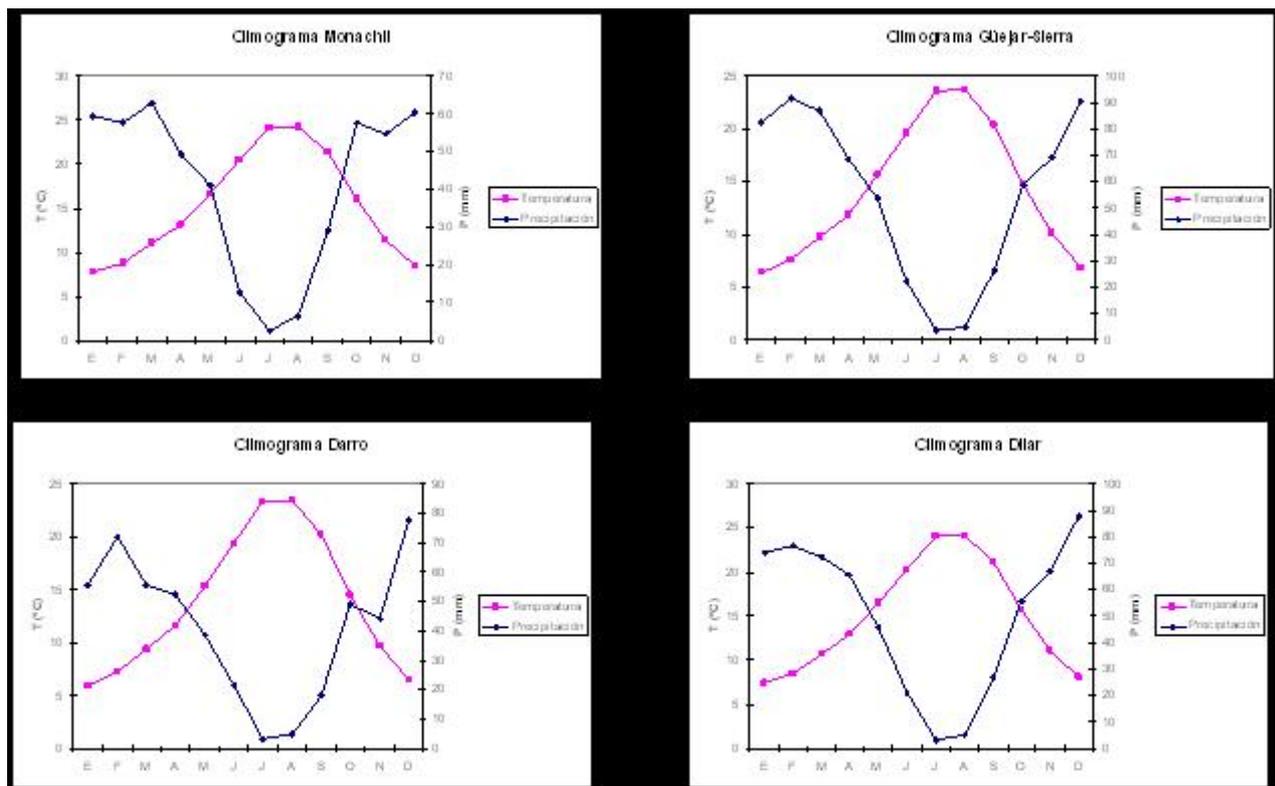


Figura 2. Datos climáticos de las estaciones de Guejar Sierra, Monachil, Darro y Dilar.

Tabla 1. Datos climáticos mensuales en las estaciones consultadas para el análisis meteorológico.

TEMPERATURA MEDIA MENSUAL DE MEDIAS												
Estación	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Gúejar-Sierra	6,4	7,6	9,8	11,9	15,7	19,7	23,6	23,7	20,4	14,8	10,1	6,9
Monachil	7,8	8,8	11	13,1	16,7	20,5	24,2	24,3	21,3	16	11,4	8,4
Darro	6	7,2	9,4	11,6	15,3	19,4	23,4	23,5	20,2	14,5	9,7	6,5
Dilar	7,5	8,5	10,7	12,9	16,5	20,3	24,1	24,2	21,1	15,8	11,1	8,1
PLUVIOMETRÍA MEDIA MENSUAL												
Estación	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Gúejar-Sierra	82,5	91,7	86,8	68,8	53,7	22,4	3,5	4,9	26,4	58,6	69,3	90,4
Monachil	59,3	57,7	63	49,4	41	12,9	2,6	6,5	29	57,7	54,5	60,5
Darro	55,7	72,2	55,5	52,4	38,7	21,5	3,3	4,8	18	49	44,3	77,5
Dilar	74,1	76,6	72,3	65,3	45,7	21,4	3,1	5,2	26,7	55,7	66,8	87,9
EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL MEDIA MENSUAL												

Estación	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Güejar-Sierra	14,2	17,9	32	45,5	76	107,1	142,1	134	94,4	55,4	27,6	15,3
Monachil	16,7	19,8	34,5	48,6	79,2	110,4	145,9	138	98,2	58,8	30,2	15,6
Darro	13,5	17,2	31	44,9	74,4	105,7	140,9	133	93,9	54,7	26,8	14,7
Dilar	16,2	19,2	33,8	48,3	78,6	109,4	145,3	137	98,2	58,8	30,2	18,2

Se aprecia un incremento en las precipitaciones entre la estación de Güejar-Serra y el resto debido a que esta se sitúa en la montaña y sería representativa de las condiciones climáticas de los ríos con cabeceras a mayor altitud.

#### 4. METODOLOGÍAS PARA EL ESTABLECIMIENTO DE UN RÉGIMEN AMBIENTAL DE CAUDALES

Aún considerando que los ríos son ecosistemas caracterizados por las variaciones periódicas de sus parámetros ambientales, y especialmente el caudal, estas variaciones se presentan de forma natural en unos momentos y en unas magnitudes concretas; las fluctuaciones naturales, presentan un rango de variación restringido, dentro de lo que se consideran situaciones normales, el espectro de tolerancia a estas variaciones es distinto en las especies, las condiciones extremas de situaciones ambientales como puede ser el valor del caudal, pueden considerarse adversas para los individuos más sensibles, y sólo serán soportables en periodos de tiempo cortos y en ocasiones puntuales.

Sin embargo si los sistemas ecológicos están sometidos permanentemente a condiciones extremas durante periodos de tiempo largos, se está llevando a las poblaciones de seres vivos a tensiones que pueden ser difícilmente soportables por estas; llegándose a la desestructuración de la población, con fatales consecuencias, que llevaran a la desaparición de individuos, taxones o poblaciones enteras; así como al deterioro del medio físico y de los procesos que se establecen entre este y la biocenosis que soporta (Frissell<sup>2</sup>, 1996). Por esta razón si queremos conservar los procesos naturales que se producen en estos sistemas, debemos tratar de restaurar o al menos mantener en su intervalo de variación natural, las variables ambientales más determinantes, como es el caudal, no sólo en cuanto a su magnitud sino también en otras características de su composición como la frecuencia o la fecha de ocurrencia. Esto supone que por un lado se deben conocer los valores habituales y naturales que alcanzan estas variables en la naturaleza, y que han condicionado la

<sup>2</sup>Frissell, C.A. y Bayles, D. 1996. Ecosystem management and the conservation of aquatic biodiversity and ecological integrity. *Water Resources Bulletin*. **32**. (2): 229-240.

evolución de las especies que habitan los ecosistemas, y por otro las necesidades o exigencias en cuanto a estas variables, de las especies más representativas que los habitan.

## **5. METODOLOGÍA**

La secuencia de trabajo se concreta en las siguientes acciones:

- Elección de los puntos de muestreo.
- Estudio de las condiciones hidráulicas y simulación hidráulica.
- Determinación del régimen de caudales ambientales

### **5.1 ELECCIÓN DE LAS ESTACIONES DE TRABAJO**

Para la realización del estudio se han establecido 5 estaciones de trabajo una en cada uno de los ríos sobre los que versa este proyecto: Monachil, Darro, Beas, Dilar y Aguas Blancas. Para establecer los puntos elegidos concretos sobre los que se realizó el trabajo, se tuvo en cuenta la localización y extensión de los acuíferos y de sus zonas permeables, situando las estaciones de trabajo en tramos aguas debajo de donde se supone que hay extracciones de caudal por sondeos subterráneos o en donde podrían situarse, para que el caudales ecológico que circulo por el tramo, lo haga una vez pasadas las posibles detracciones de agua que puedan producirse en las explotaciones subterráneas situadas más en cabecera. Esta elección se hizo en coordinación con el personal del Instituto Geológico para que os resultados obtenidos puedan integrarse en los proyectos de utilización conjunta que están llevando a cabo en esta zona.

Por otro lado también se han usado criterios de máxima representatividad dentro de las restricciones impuestas por la geología citadas antes, y los accesos a los tramos. Para cumplir con estos criterios se han elegido tramos que incluyeran una representación de los mesohábitats presentes en el río, incluyendo tramos en zonas más altas de fuerte pendiente constituidos principalmente por saltos y rápidos y otros en las zonas más bajas de valle abierto, con una composición de mesohábitat diferentes a los anteriores.

#### **Composición biológica**

El tratamiento de la composición biológica se dividió en dos partes:

La toma de muestras de fauna bentónica en el lecho de los tramos sobre los que se realizaron los levantamientos topográficos:

El estudio faunístico, que se ha realizado consultando trabajos anteriores, haciendo especial hincapié en aquellos grupos biológicos y aquellos aspectos, que van a contribuir a la elección del método de estimación de los caudales ambientales.

El estudio de la **Vegetación**, se hizo en términos cualitativos, tratando de describir de la forma más completa posible la comunidad existente en cuanto a su composición tanto de: Vegetación de laderas y Vegetación de riberas.

En cuanto a la fauna se ha recogido información sobre las **poblaciones piscícolas y los macroinvertebrados** cuando esta ha estado disponible. Los peces constituyen la comunidad fluvial de mayor significación desde la perspectiva humana, ya que de los animales del río son los más conspicuos por su tamaño y abundancia, atrayentes por los aspectos recreativos de su pesca, y como indicador de calidad medio ambiental al representar el vértice de la pirámide trófica del ecosistema acuático. Estas cualidades hace que los requerimientos de hábitat de los peces que viven en un tramo fluvial se empleen, con frecuencia, en la fijación del hábitat potencial útil del río, y por consiguiente, sea necesario conocer que comunidades piscícolas habitan en cada río. Puesto que en dos de los ríos Beas y Darro, no existen poblaciones de peces importantes, o al menos no se han constatado en las consultas realizadas, ni se han conseguido citas de técnicos, científicos o población local sobre la presencia de los mismos, se ha decidido utilizar los macroinvertebrados como grupo indicador de las necesidades de hábitat, y en consecuencia condicionar los resultados a la presencia de una mayor diversidad de los mismos.

Dado el objetivo del presente estudio, no se pretende la caracterización exhaustiva de las poblaciones piscícolas ni de macroinvertebrados, sino sólo conocer que población debía utilizarse como referencia, la elección de la especie o grupo de especies más representativa se hizo consultando la bibliografía existente sobre la distribución íctica de la fauna española<sup>3</sup> y el trabajo para elaborar los Planes técnicos de pesca de Granada

---

<sup>3</sup> Doadrio, I., Elvira, B. And Y. Bernat. 1991. *Peces Continentales españoles. Inventario y clasificación de Zonas Fluviales*. MAPA-ICONA. Colección Técnica. MAPA. 221 pp. Madrid

elaborado por la Escuela de Montes de Madrid<sup>4</sup>. Con respecto a los macroinvertebrados se han consultado varios trabajos realizados sobre la distribución de varios grupos de este tipo biológico realizado en ríos de Sierra Nevada<sup>5</sup>

### **Estudio hidrológico**

El estudio hidrológico, ha sido realizado a partir de los datos diarios y medios mensuales, de las siguientes estaciones de aforos disponibles: la nº 86 en el río Dilar, la nº 39 en el Monachil y la nº 21 en el Aguas Blancas, no existiendo aforos de los ríos Darro y Beas. Estos datos servirían para ver la estructura del régimen y sus pautas, pero no para establecer valoraciones sobre su magnitud, puesto que la localización de las estaciones de aforo no coinciden exactamente con la localización de los tramos en los que se ha estimado el Régimen de caudales ecológicos y además también es posible que los datos de aforo estén afectados por detracciones. En el caso de los dos últimos ríos citados, donde no hay aforos, se ha tenido que utilizar las pautas y características principales que definen el régimen partiendo de los datos aforados en cuencas vecinas, y afectándolos por la diferencia de tamaño de las cuencas.

Los datos medios mensuales se han utilizado para obtener los índices mensuales de variación del régimen natural de caudales con los que se han reconstruido los caudales ecológicos mensuales de los ríos estudiados, tratando de reproducir la misma pauta de variación.

Para completar el diseño y caracterización del régimen, se deben aportar valores del resto de componentes del régimen natural, que describan la magnitud, frecuencia, duración y momento de ocurrencia de los caudales extremos, máximos y mínimos; y las tasas de cambio de los caudales de forma natural. Para ello se han utilizado los datos de caudales diarios, con los que se ha hecho un estudio completo siguiendo la metodología propuesta por Richter<sup>6</sup> et al (1996); se calcularon 22 parámetros hidrológicos con los años disponibles 20 en el caso de Monachil y Dilar y 10 en el Aguas Blancas, que sirvieron para caracterizar el régimen de caudales natural. Para determinar el rango de variabilidad natural se obtuvo la media de cada uno de los

---

<sup>4</sup> Escuela de Ingenieros de montes. UPM laboratorio de Hidrobiología. 2003. **Planes técnicos de pesca de los cotos de la provincia de Granada.**

<sup>5</sup> Caracterización y calidad de las aguas del río Monachil. Zamora, C., Alba-Tercedor, J. 1991. Facultad de Ciencias . Universidad de Granada. Ecología, distribución y ciclos de desarrollo de Efemerópteros de Sierra Nevada. (Granada – España). Alba-Tercedor, J. 1986. *Limnetica* 1: 234:246.

<sup>6</sup> Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Powell, J., and Braun, D.P. 1996. “A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems”, *Conservation Biology*, **10**, 1163-1174.

parámetros obtenidos en los años estudiados y su desviación típica; decidimos que el rango de variación natural (RVN) estaría comprendido entre los valores que resulten de sumar y restar a la media la desviación típica.

Como puede comprobarse en las tablas de resultados, estos índices se clasifican en 4 grupos que componen el régimen de caudales (Lytle and Poff, 2004) según describan la magnitud, el momento, la frecuencia, la duración y el rango de variación, de los caudales estudiados. El primer grupo son las magnitudes y duración de los extremos anuales, calculados como las medias móviles máximas y mínimas de 1, 3, 7, 30 y 90 días; el segundo grupo localiza el día del calendario juliano de los caudales extremos; el tercer grupo la Frecuencia y duración de los periodos de crecida y estiajes y, el último grupo el Ratio y frecuencia de los cambios de tendencia.

## **5.2 ESTIMACIÓN DEL RÉGIMEN DE CAUDALES ECOLÓGICOS.**

Para llevar a cabo el cálculo del régimen de caudales ecológicos, se tiene que proceder a la elección del método más adecuado a las circunstancias en las que se enmarca el trabajo.

Generalmente esta elección viene condicionada por dos tipos de ajustes que son los que se desprenden de los objetivos que se pretendan conseguir con el estudio, y por otro lado las características de la cuenca que se estudia.

Como se ha dicho en los objetivos del trabajo, este se encuadra en un estudio más amplio que tiene como finalidad realizar una gestión integrada de la cuenca, considerando pautas de uso conjunto, contemplando varios aspectos como la mejora en la garantía, la seguridad y el establecimiento de medidas ambientales para la conservación de los tramos fluviales afectados. Dentro de este entramado juega un papel fundamental la fauna, especialmente la piscícola como una de las comunidades más exigente en cuanto a las condiciones de habitabilidad de los espacios que ocupa. Por esta razón se consideró la necesidad de elegir un método que estableciera relaciones entre las características físicas del medio, el hábitat, y las necesidades de la fauna, el método debería tener una fuerte composición hidráulica, ya que de esta forma los resultados establecidos en el mismo podrían utilizarse en los futuros trabajos en la cuenca cuando se necesite conocer la respuesta hidráulica del sistema a los cambios de caudal, puesto que esta variable es la más importante en el funcionamiento del ecosistema fluvial. Teniendo en consideración estas premisas la metodología que actualmente es más acorde con estas circunstancias es la metodología IFIM, que analiza las diferentes condiciones hidráulicas que se producen al variar los caudales circulantes, y liga los diferentes estados con las preferencias de

hábitat de las especies, ofreciendo unos resultados con los que se puede elegir el caudal más apropiado, en función de la afectabilidad a las poblaciones que se están considerando. Como se ha dicho donde no ha sido posible se han considerado mantener o conservar la mayor diversidad de macroinvertebrados.

### **Estudio de las condiciones hidráulicas y simulación**

El estudio de las condiciones hidráulicas se hace necesario para poder utilizar la metodología IFIM e introducir los datos en el programa de simulación. La metodología IFIM (*Instream Flow Incremental Methodology*), ha sido desarrollada por el *U.S. Fish and Wildlife Service* y ampliamente descrita por Bovee (1.982, 1.995). 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 de la fauna, cuál es el uso de ese hábitat por una especie o conjunto de especies en cada estado de desarrollo. Posteriormente mediante la realización de una simulación hidráulica, obtendremos cómo cambia el valor 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 *et al.*, 2.000).

Para el presente estudio se ha usado un programa desarrollado por Peter Steffler<sup>7</sup> 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 para la comunidad biológica de referencia, relacionando valores de caudal con superficies de hábitat efectivo; y las curvas de preferencia de las especies seleccionadas, que se definen para cada una de las variables hidráulicas que

---

<sup>7</sup> STEFFLER, P., WADDLE, T., GHANEM, A., KATOPODIS, C. y LOCKE, A. (2000): Comparison of one and two-dimensional open channel flow models for a small habitat stream. *Rivers*, 7(3): 205-220.

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, y de la topografía de los tramos.

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*), por ser una especie representativa del tramo<sup>8</sup>, observado con facilidad en los trabajos de campo, y del que se cuenta con unas curvas de preferencia adaptadas a los ríos del sur peninsular<sup>9</sup>; aunque en el río Aguas Blancas existe trucha arco iris, una especie introducida, creemos que en un estudio de caudales ecológicos se debe primar optimizar el hábitat de especies autóctonas.

En los ramos de los ríos Darro y Beas se ha trabajado con las características hidráulicas que forman el hábitat de preferencia para macroinvertebrados.

### **Levantamiento topográfico**

Para llevar a cabo la simulación hidráulica fue necesaria la realización de una topografía detallada de los tramos, para lo que se ha empleado una Estación Total de Topografía Pentax modelo PCS 315 y el prisma apropiado. Es especialmente importante la medición de la línea de orillas con alta precisión ya que de ello va a depender la bondad de la simulación. El resto de la topografía del cauce y de las zonas exteriores (para la simulación de caudales mayores al circulante), debe responder a las características y complejidades del tramo, de forma que queden reflejados los detalles topográficos. El número de puntos para determinar la topografía de un tramo es, por lo tanto, variable, aunque se ha procurado tomar tramos de igual longitud (aproximadamente 300 m.) y el número de puntos en cada estación ha sido de unos 150. En cada punto medido y con el fin de abordar la simulación, no sólo hidráulica sino del hábitat físico, se anotó el tipo de

---

<sup>8</sup> Gortazar et al, Planes técnicos de pesca de los cotos de la provincia de Granada. 2003. ETSI de Montes-Tragsa-Granada.

<sup>9</sup> García de Jalón comunicación personal, 2001

sustrato presente, según la clasificación descrita en la tabla 1. Esta descripción del sustrato sirvió también para la estimación de la rugosidad del lecho.

El coeficiente de rugosidad empleado se fija dentro del programa RIVER2D por las características granulométricas y la morfología del lecho, a través del coeficiente de la “altura de rugosidad efectiva”, que tiende a mantenerse constante en un espectro amplio de profundidades. Las rugosidades empleadas en este estudio son las siguientes:

**Tabla 2.- Clasificación del sustrato y su rugosidad relativa adaptada para el programa RIVER2D.**

Sustrato	Rugosidad relativa (m)
1. Fangos, limos, arcillas, tierra	0,01
2. Arenas (0,6 – 3 mm)	0,05
3. Gravas (4 - 9 mm)	0,03
4. Cantos rodados (10-300 mm)	0,07
5. Bolos, troncos (>300 mm)	0,7
6. Roca madre	0,1
7. Vegetación acuática	0,4
8. Matorral, herbáceas, raíces, ramas muertas	0,3
9. Árboles y arbustos	0,2

Para cada una de las tipologías anteriores, el programa también es capaz de asignar una preferencia a través de las curvas de preferencia.

### **Determinación del caudal circulante**

El estudio de las condiciones hidráulicas exige también la determinación del caudal circulante en el momento del muestreo, así como la altura de la lámina de agua.

Para ello realizamos en cada estación de muestreo dos secciones transversales, una de entrada (aguas arriba) y otra de salida (aguas abajo), con unas condiciones hidráulicas lo suficientemente buenas como para realizar una buena medición del caudal circulante.

Cada sección transversal se inicia en la margen derecha, desde el extremo exterior de la ribera, y se continúa atravesando el cauce hasta el extremo más exterior de la ribera por la margen izquierda. Las mediciones de distancias y profundidades se hacen cada vez que se observa un cambio de pendiente, de granulometría del sustrato, velocidad de la corriente, profundidad, etc. y siempre deben incluir los puntos relativos a los extremos de la lámina de agua (orillas propiamente dichas).

Cada sección debe quedar definida por un número suficiente de puntos relativos al cauce o lecho del río. Como recomendación general se establece que las mediciones en el lecho se efectúen cada vigésima parte de la anchura del cauce (ej: la sección de un cauce de 10 m de anchura deberá ser estimada cada  $10/20 = 0,5$  m). En las zonas muy rocosas o con muchos cambios de profundidad se hicieron secciones más detalladas, aumentando el número de puntos.

En cada punto se anotó su distancia a la orilla derecha, después se midió la profundidad con una vara graduada o profundímetro y a continuación se la velocidad del agua a una profundidad de la superficie del agua de 0,6 veces el calado, con la ayuda de un correntímetro Valeport modelo 801. Con estos datos podemos calcular el caudal que circulaba por la sección en el momento del muestreo.

### **Simulación hidráulica**

Para la simulación hidráulica se ha utilizado el modelo bidimensional mencionado anteriormente, RIVER2D desarrollado en la Universidad de Alberta (Canadá). Para funcionar con el programa se debe introducir como datos los valores de los puntos del levantamiento topográfico del lecho y la altura de la lámina de agua y el caudal que corresponde a esa altura de agua. Estas dos últimas mediciones son las condiciones de contorno y que en cada tramo sirven al programa para realizar los cálculos hidráulicos: la altura del agua y el caudal de la sección de entrada (aguas arriba) y la altura de agua en la sección de salida (aguas abajo).

Las condiciones de contorno con las que se ha ajustado el modelo hidráulico RIVER2D se refieren a la altura y al caudal en la sección de entrada y a la altura de agua en la sección de salida, medidos en el terreno en el día que se realizó la visita al tramo. A partir de estos valores, el programa necesita esos pares de valores para realizar la simulación en diferentes condiciones hidráulicas, esos pares de valores altura-caudal a la salida de cada tramo se pueden obtener de dos maneras, por sucesivas visitas al campo en las que se realizan mediciones in situ de altura caudal con diferentes caudales o bien mediante el ajuste de una curva de gasto que tiene la siguiente expresión:

$$q = a \cdot d^b$$

donde “ $q$ ” es el caudal por unidad de anchura  $\left( \frac{m^3}{m \cdot s} = \frac{m^2}{s} \right)$ , “ $a$ ” es la altura del agua

en un punto de la sección y “ $a$ ” y “ $b$ ” son dos constantes que se ajustan en base a los datos de caudal-altura de agua. Para obtener con más precisión esta curva se deben tener datos al menos de dos situaciones diferentes con aguas altas y con caudal bajo, también se puede ajustar la expresión con un único dato y comparando los **HPU** (Weight Usable Areas) obtenidos con este dato y sucesivas iteraciones de los valores “ $a$ ” y “ $b$ ” hasta que se obtenga un **HPU** similar al obtenido con el dato real obtenido en el campo con lo que se obtiene una primera aproximación válida.

Para ajustar con mayor precisión la curva de gasto se realizaron dos visitas a cada una de las estaciones de trabajo, la primera en primavera, que fue la más intensa, donde se tomó la topografía de detalle de todo el lecho y el nivel de las aguas, en la segunda realizada en Julio con aguas bajas, se determinó el nivel de la lámina de agua y se volvió a medir el caudal en la misma sección que se había hecho en la campaña de primavera. Con los dos datos de altura caudal se realizó un mejor ajuste de la curva.

### **Curvas de preferencia de la fauna**

Las curvas de preferencia que se han utilizado han sido las de la trucha común, al representar en la zona la población piscícola más importante, tanto por su interés económico, como por sus parámetros poblacionales. Estas curvas están basadas en las de Bovee<sup>10</sup> y adaptadas a nuestro país<sup>11</sup> (García de Jalón, 1.990). Describen las

<sup>10</sup> BOVEE, K., STALNAKER, C., LAMB, B. L., HENRIKSEN, J. y 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.

<sup>11</sup> García de Jalón et al. **Realización del cálculo de aportaciones ambientales y caudales ecológicos mínimos en la cuenca hidrográfica del río Tajo**. Departamento de Ingeniería

preferencias de esta especie en cuanto a velocidad del agua, profundidad y tipo de sustrato, en los estados de adulto, juvenil, alevín y huevo (freza).

También y específicamente para este trabajo se ha elaborado unas curvas de preferencia para macroinvertebrados basadas en los trabajos de Jowett et al (1991), Quinn and Hickey (1994), Jowett (2003) y Brooks et al (2005)<sup>12</sup>, además de las obtenidas para ríos españoles (Brotons 1985). La finalidad en este caso es obtener un hábitat que potencie la máxima diversidad y abundancia de los individuos de este grupo biológico

En el caso de los macroinvertebrados se ha constatado que ocasionalmente en algunos ríos las variables hidráulicas complejas como el número de Reynolds o el de Froude, presentan relaciones significativas con respecto a la composición, riqueza taxonómica y abundancia de invertebrados, incluso mayores que las variables comúnmente utilizadas en los modelos de simulación para preferencias de la fauna.

Por esta razón y puesto que las curvas de macroinvertebrados para la fauna española, no están suficientemente contrastadas en muchas de las cuenca y diversidad de medios fluviales posibles, se han considerado varias variables hidráulicas, como el número de Froude, la profundidad, la velocidad y establecer relaciones con valores de diversidad biológica y abundancia de invertebrados. Los trabajos analizados están ubicados en ríos con una amplia variedad de condiciones hidráulicas y las relaciones establecidas eran distintas en función principalmente de la profundidad del río. En los tramos someros se ha encontrado que la diversidad y abundancia de invertebrados disminuía mucho cuando las profundidades mantenidas en el tramo eran menores de 10 cm. Esto supuso utilizar este criterio a la hora de determinar el caudal que iba a permitir en mejores condiciones de habitabilidad para los macroinvertebrados los tramos estudiados.

Se realizó simulación hidráulica con varios caudales y se selecciono como caudal ecológico crítico aquel a partir del cual la continuidad de zonas con profundidades iguales o mayores de 10 cm. se rompía, lo que se interpreta como una zona difícilmente habitable por la mayoría de macroinvertebrados.

---

Forestal. ETSI Montes. Subvencionado por el Centro de Estudios Hidrográficos. CEDEX. Mayo. 1997.

<sup>12</sup> Jowett 2003 . Hydraulics constraints on habitat suitability for benthic invertebrates in gravel-bed rivers. *River Research and Applications* 19:495-507.

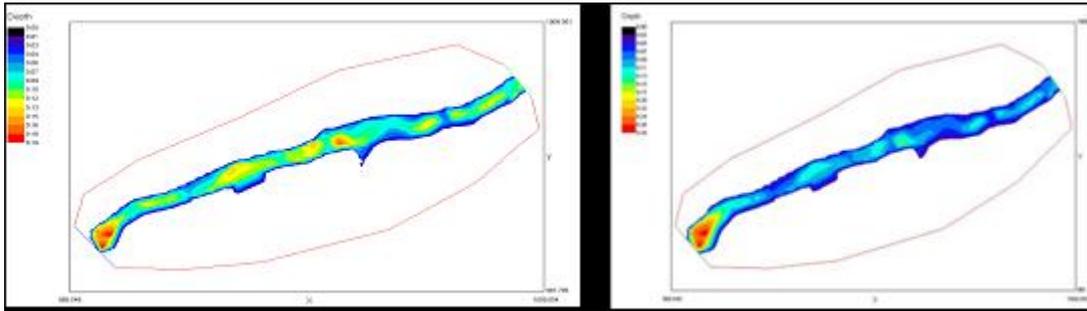
Jowett et al. 1991. Microhabitat preferences of benthic invertebrates and the development of generalised Dletium spp. Habitat suitability curves, applied to four New Zealand rivers. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 25.

Quinn and Hickey, 1994. Hydraulic parameters and benthic invertebrate distributions in two gravel-bed New Zealand rivers. *Freshwater Biology*, 32, 489-500.

Brooks et al. 2005. Hydraulic microhabitats and the distribution of macroinvertebrate assemblage in riffles. *Freshwater Biology*: 50.

Brotons Floria, Plácido Antonio. 1986. Condicionamientos hidráulicos sobre la distribución en densidad de las comunidades de macroinvertebrados del bentos. Estudio en un tramo del río Jarama (Madrid). Proyecto Fin de Carrera. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid.

El cambio puede observarse en las dos siguientes figuras del río Beas, en las que el color azul claro es el límite por debajo del cual la profundidad disminuye comprometidamente y el hábitat empeora. Las imágenes muestran a la izquierda las profundidades con un caudal de  $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$  y a la derecha el cambio que se produce con un caudal de  $0,09 \text{ m}^3/\text{s}$



Puesto que en el programa de simulación se pueden obtener los valores del número de Fraude y las profundidades de los puntos de la malla en los que se ha dividido el cauce, hemos tratado de encontrar en las diferentes simulaciones realizadas con los caudales, el número de puntos en los que teníamos valores del número de Froude dentro del intervalo que más diversidad y abundancia de macroinvertebrados se obtiene, o bien profundidades mayores de 10 cm, según los datos experimentales de estos autores. Luego se ha representado el caudal frente al número de puntos obtenidos dentro de este intervalo y, se ha elegido aquel caudal a partir del cual la disminución de esos lugares con una turbulencia más óptima, disminuía muy significativamente, tomando como caudal mínimo ecológico el que dejaba en el río un número de puntos suficientemente alto como para que se encontraran áreas óptimas en cuanto a las condiciones hidráulicas, para mantener unas altas poblaciones de este grupo biológico.

Este análisis se ha realizado únicamente en el río Beas, el más pequeño de todos, en el que no existe posibilidad de albergar fauna piscícola, y los esfuerzos deben centrarse en la conservación de estas otras poblaciones biológicas. También en este río se ha trabajado con las curvas de preferencia para invertebrados mencionadas anteriormente, siguiendo la metodología IFIM descrita, con lo que se han podido obtener dos resultados de caudales ecológicos mínimos para este río.

En las siguientes figuras se adjuntan las funciones de preferencia de la trucha utilizadas.

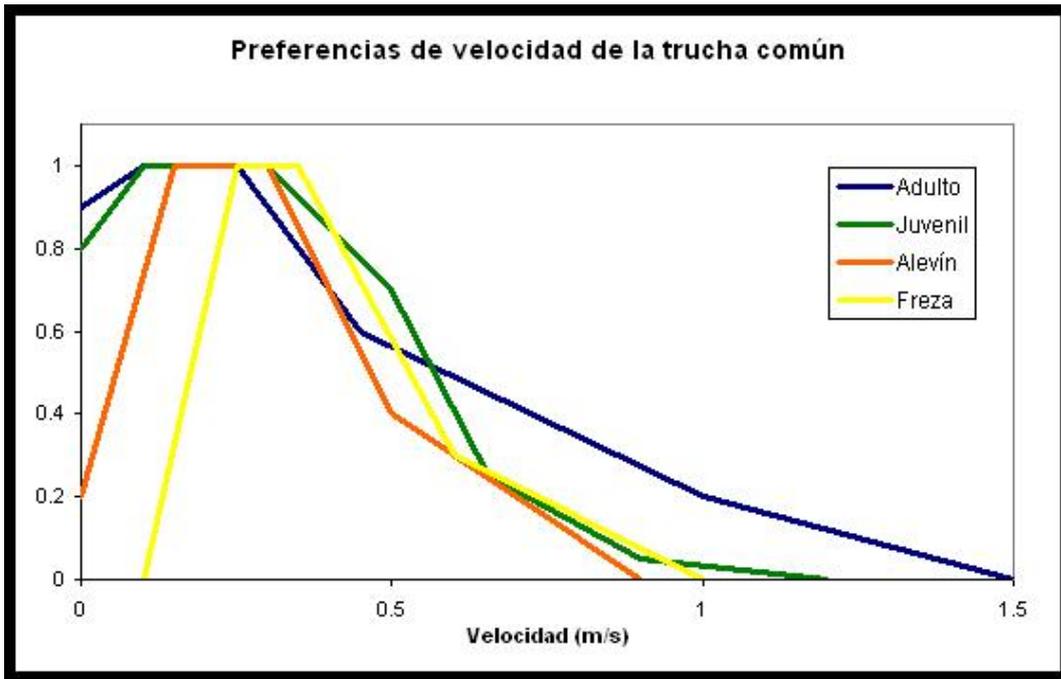


Figura 3.- Curvas de preferencia de velocidad del agua para la trucha común.

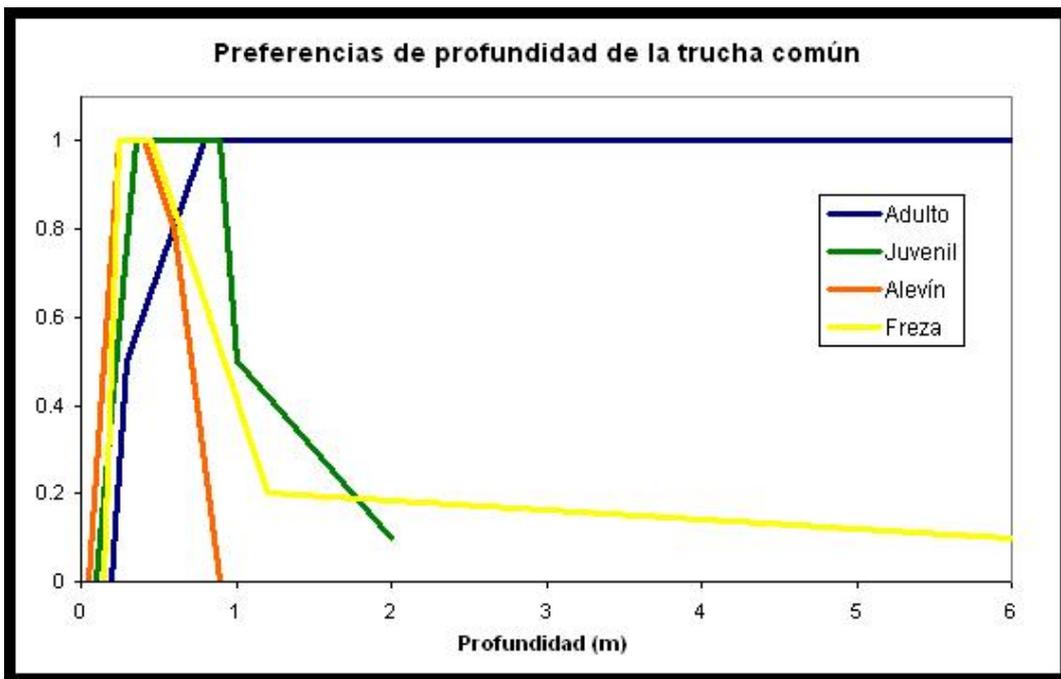
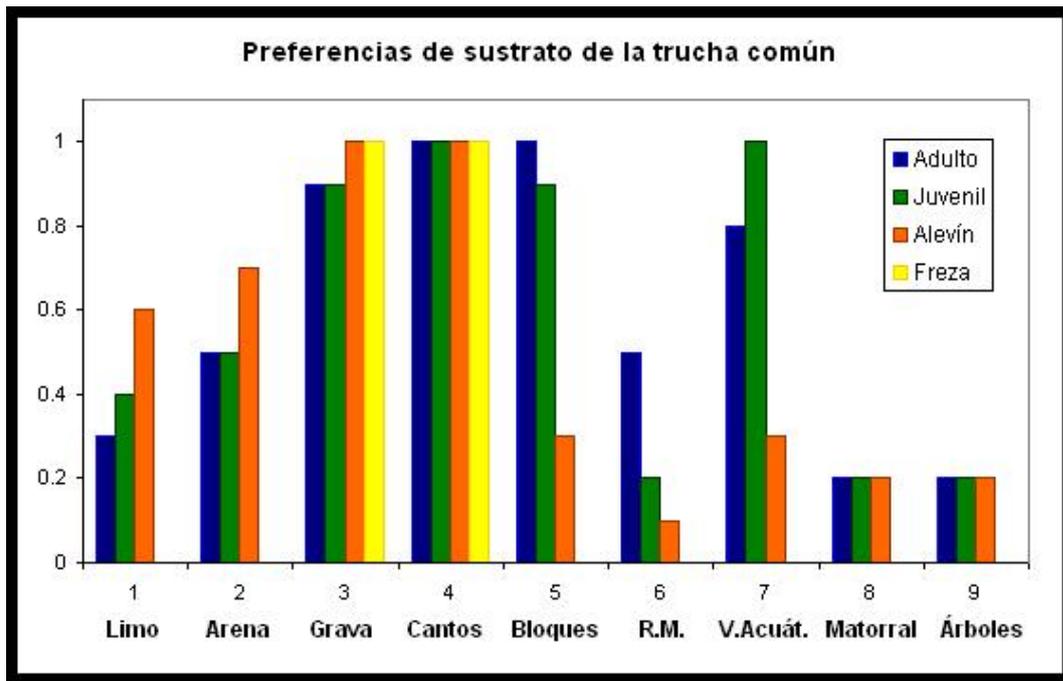


Figura 4.- Curvas de preferencia de profundidad para la trucha común.



**Figura 5.- Preferencias de sustrato de la trucha común.**

#### **Determinación del hábitat potencial útil**

Se define el Hábitat Potencial Útil (HPU) como el equivalente al porcentaje del hábitat, expresado como superficie del cauce inundado o como anchura por unidad de longitud de río, que puede ser potencialmente utilizado con una preferencia máxima por una población o una comunidad fluvial.

El estudio del Hábitat Potencial Útil permite conocer las posibilidades de uso del río por parte de la especie o especies consideradas, en función de las características de la corriente y a medida que va variando el caudal. Se trata de establecer una combinación de condiciones hidráulicas (velocidad, profundidad) y características del cauce (sustrato), óptimas para cada especie y estado de vida.

Para cada simulación de un valor supuesto de caudal, el ordenador considera un nivel correspondiente de agua en el río y a partir de esta condición divide el tramo en múltiples celdas, cada una de ellas con una profundidad, velocidad y tipo de granulometría determinadas, según las condiciones de la lámina y la columna de agua de dicho caudal. Mediante las curvas de preferencia, el programa calcula el área o hábitat potencial útil

que representa cada una de las celdas consideradas, como producto del llamado índice de conformidad, por el área o superficie real de la celda, mediante la expresión:

$$HPU = C_i \cdot A_{real}$$

donde HPU es el hábitat (en términos de área) potencial útil de cada celda,  $A_{real}$  es la superficie real de la celda y  $C_i$  es el índice de conformidad de la celda.

El índice de conformidad se puede calcular como la media geométrica de los índices de conformidad obtenidos para cada variable considerada, según la expresión:

$$C_i = \sqrt[3]{C_v \cdot C_h \cdot C_s}$$

siendo:

$C_v$ : índice de conformidad debido a la velocidad.

$C_h$ : índice de conformidad debido a la profundidad.

$C_s$ : índice de conformidad debido al sustrato.

El índice de conformidad de cada una de las variables anteriores se obtendrá a partir de las respectivas funciones de preferencia, entrando en ellas con el valor que, para un determinado caudal, tiene cada una de las variables en cada celda. Realizando este cálculo para distintos caudales, se obtendrán relaciones numéricas que permiten conocer cómo varía el HPU en función de la evolución del caudal.

La elección de las curvas de preferencia como se ha justificado ha estado basada en la composición de la comunidad piscícola presente en cada tramo.

La idea de unos caudales circulantes mínimos capaces de mantener el funcionamiento del ecosistema fluvial en todos sus niveles se puede plasmar a partir de las gráficas que relacionan el hábitat potencial útil (HPU) con el caudal circulante por el cauce (Q). Por lo

tanto, a partir de las relaciones entre los caudales circulantes y los HPU's que se generan en cada tramo, se pueden determinar los caudales ecológicos.

### **Determinación del hábitat real útil**

Tras llevar a cabo la simulación hidráulica con el programa informático RIVER2D y aplicar las funciones de preferencia correspondientes, se obtienen las curvas Caudal-HPU. En los tramos aplicando las funciones diseñadas para la trucha, se obtuvieron cuatro curvas Caudal-HPU, para los estados de adulto, juvenil, alevín y freza.

Debido a la existencia de estas cuatro curvas, se hace necesario elegir la más limitante para estudiar una sola de las funciones. Para ello debemos ajustarlas de modo que sean comparables, ya que los distintos estados de desarrollo tienen exigencias de hábitat diferentes: no es lo mismo 1 m<sup>2</sup> de hábitat para la freza, donde puede haber muchos huevos, que 1 m<sup>2</sup> de hábitat para el adulto, el cual necesita mucho más espacio para desarrollar su actividad vital.

Para ajustar las funciones Caudal-HPU de modo que sean comparables, hemos utilizado las relaciones de hábitat de Bovee (1.982), que se exponen a continuación.

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

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

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

**Llamamos Hábitat Real Útil (HRU) al que ha sido ajustado a partir del HPU empleando estas relaciones y que nos permite comparar entre sí las curvas correspondientes a los distintos estados de desarrollo.**

Se escoge la curva correspondiente al estado más limitante y se estudia junto con su derivada, que nos informa acerca de cómo varía su pendiente. Se trata ahora de buscar un punto de la curva a partir del cual un aumento de caudal no suponga un incremento significativo del hábitat disponible. Ese punto sería el caudal mínimo ecológico para los años lluviosos o de gran cantidad de agua y el punto de caudal mínimo a partir del cual se produce una pérdida cuantitativamente importante de hábitat, será el caudal mínimo ecológico para los años de sequía o de poca cantidad de agua.

La forma de elegir el caudal persigue una objetividad máxima en los resultados, para ello normalizamos todos los valores tanto de APU como de Caudal, con respecto a sus valores máximos, y calculamos la pendiente de la curva, al representar la pendiente frente al caudal, elegimos el punto en el que la pendiente se iguala a uno. Este criterio se ha demostrado más adecuado que apreciar el cambio de pendiente a ojo, puesto que en el primero este cambio puede verse afectado por la escala utilizada en los ejes, que se usa al representar el gráfico APU-caudal, pudiendo variar mucho el resultado al cambiar este. Siguiendo el método de normalizar y elegir la pendiente igual a uno, se objetiviza y se uniformiza en todas las curvas de todos los ríos, y se consigue aplicar un criterio similar para todos los casos, que no depende de la apreciación del observador<sup>13</sup>.

Siguiendo la Instrucción de Planificación Hidrológica que está desarrollando actualmente el Ministerio de Medio Ambiente, también se han calculado en cada caso el caudal correspondiente al 80 y al 50 % del APU Máxima que se obtiene en las simulaciones.

En el caso de los macroinvertebrados al existir una única curva, ha sido esta por defecto sobre la que se eligió el caudal que menos afección producía al sistema, desde el punto de vista de las necesidades de este grupo de animales.

Las curvas de preferencia de la fauna bentónica utilizadas han sido las siguientes.

---

<sup>13</sup> Gippel et al, 1998. Use of meted perimeter in defining minimum enviromental flows. *Regulates Rivers* 14: 53-67.

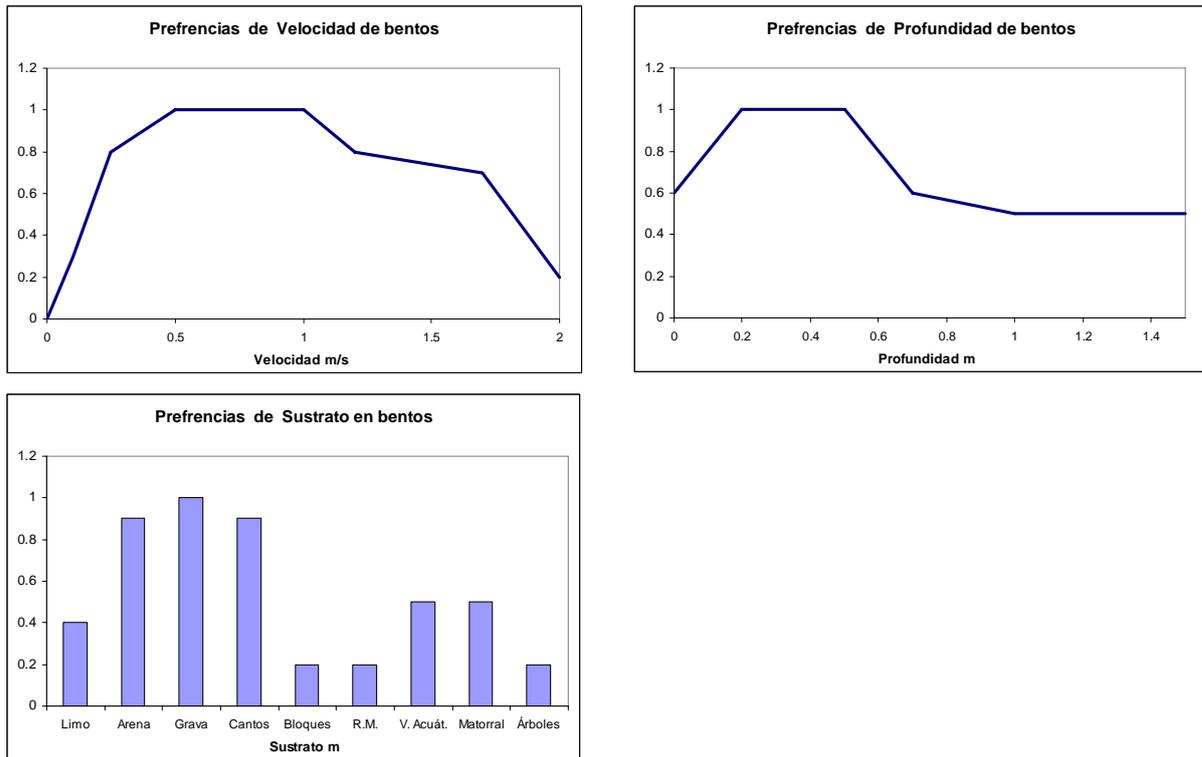


Figura 6. Curvas de preferencia de la fauna de macroinvertebrados bentónicos

**Determinación del régimen de caudales ambientales**

Las comunidades fluviales han evolucionado sometidas a determinados tipos de regímenes de caudales y por tanto sus ciclos biológicos y requerimientos ecológicos están adaptados a las variaciones estacionales propias de dicho régimen. De esta manera, para cada uno de los tramos estudiados se obtendrán todos los datos de caudales existentes, estimando así la pauta de estos, tanto en años secos como en años normales, como en años de abundancia. Esta pauta servirá para el establecimiento del régimen.

El régimen de caudales se ha diseñado a partir del caudal ecológico mínimo, obtenido con el método IFIM, aplicándole mensualmente un índice de variación que es la raíz cuadrada del cociente entre el caudal medio mensual, y el caudal medio mensual del mes mínimo. Esto permite obtener doce valores de caudal al multiplicar los doce índices por el caudal ecológico mínimo.

$$I = (Q_x / Q_{\min})^{1/2}$$

Además se realizarán apuntes sobre la necesidad de mantener y conservar algunas otras pautas relativas al régimen, tales como el establecimiento de avenidas, sus magnitud y frecuencia, y se considerarán los valores de caudal ligados a acontecimientos biológicos importantes como la freza o las migraciones.

## 6. RESULTADOS

### 6.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA HIDROLÓGICO

El sistema estudiado pertenece a la cuenca del Genil en la provincia de Granada. Los ríos Darro, y su afluente el Beas, así como el Aguas Blancas son afluentes del Genil en la margen derecha, y el Monachil y el Dilar en la izquierda.

#### 6.1 HIDROGRAMAS

Los datos para el estudio hidrológico se han tomado de las estaciones de aforos situadas en el río Aguas Blancas (número 21), en el Monachil (número 39) y en el Dilar (número 86), no existiendo datos de aforos en los ríos Darro y Dilar.

Con los datos obtenidos en las estaciones de aforos se obtuvieron los regímenes mensuales siguientes (tabla 2).

**Tabla 3. Regímenes mensuales medios obtenidos de los datos de las estaciones de aforo 21, 39 y 86.**

<b>Caudales m<sup>3</sup>/s</b>	<b>Aguas Blancas</b>	<b>Monachil</b>	<b>Dilar</b>
Octubre	0,13	0,53	0,35
Noviembre	0,26	0,74	0,55
Diciembre	0,52	0,99	0,59
Enero	0,37	1,16	0,62
Febrero	0,48	1,20	0,86
Marzo	0,28	1,24	0,64
Abril	0,29	1,59	0,91
Mayo	0,28	2,24	1,59
Junio	0,19	2,36	1,79
Julio	0,11	1,33	0,96
Agosto	0,09	0,80	0,50
Septiembre	0,12	0,63	0,34

Estos valores se encuentran representados en la siguientes gráficas.

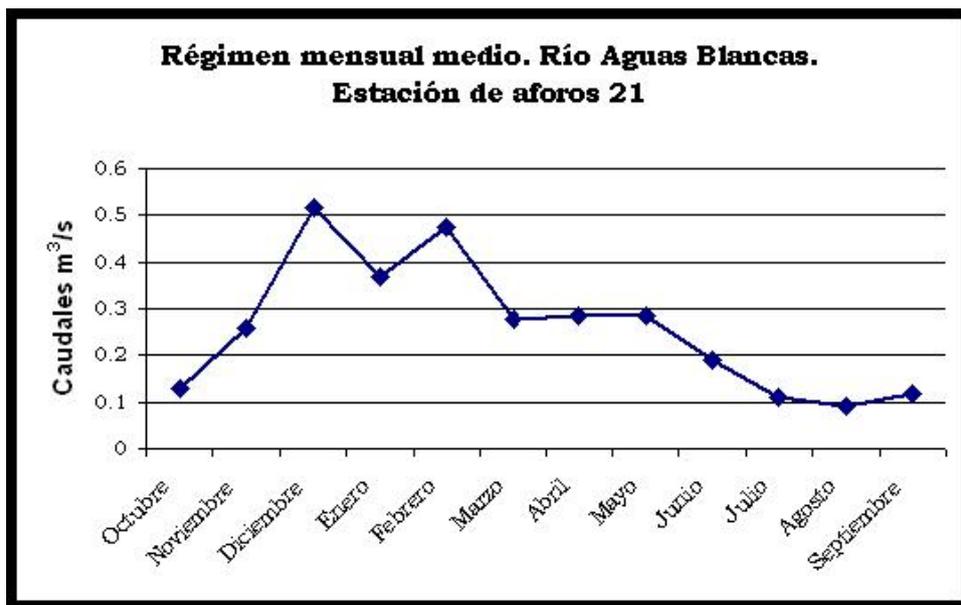


Figura 7. Regímenes mensuales obtenido con los datos de aforo de la estación 21.

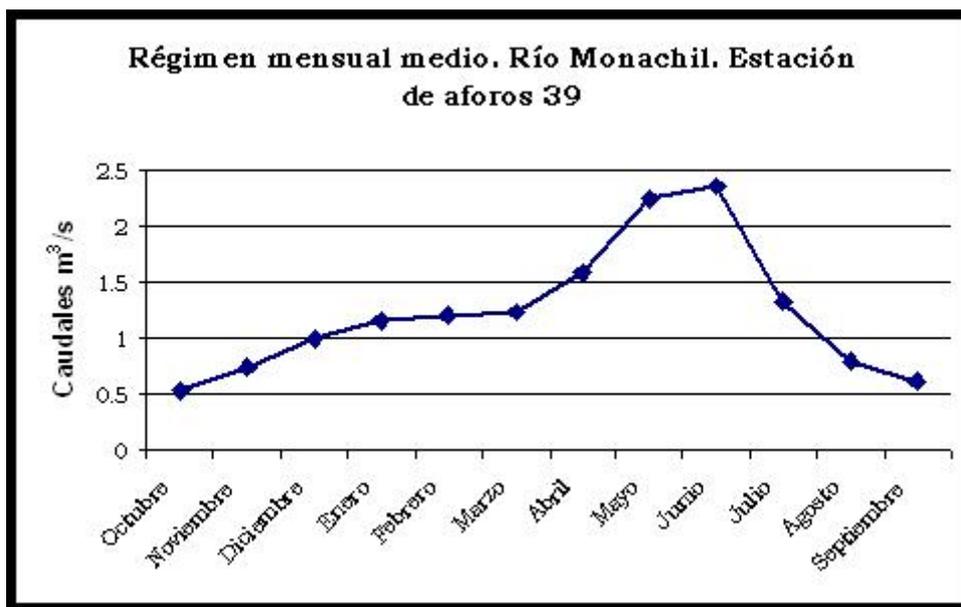
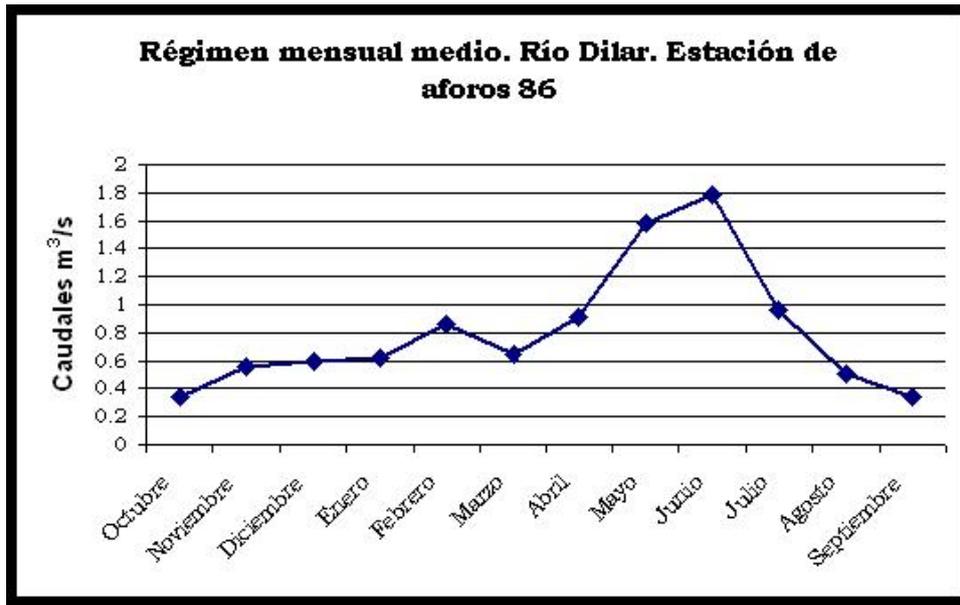


Figura 8. Regímenes mensuales obtenido con los datos de aforo de las estaciones 39. Río Monachil..



**Figura 9. Regímenes mensuales obtenido con los datos de aforo de las estaciones 86. Río Dilar**

Los volúmenes mensuales y las gráficas presentan dos comportamientos totalmente distintos entre estos ríos, mientras que el río Monachil y el Dilar tienen un régimen claramente nival, en el que los máximos se producen en primavera como consecuencia de la fusión de la nieve de Sierra Nevada, el río Aguas Blancas presenta un régimen más influido por la precipitación, con los máximos en el invierno. Se supone que los ríos de los que no se disponen datos de aforo, tendrán un comportamiento más similar al del río Aguas Blancas, por un lado por su proximidad geográfica y por otro por que la cota a la que se encuentra su nacimiento es mucho menor que la de los ríos Monachil y Dilar que, la tienen bien arriba en las cumbres de Sierra Nevada.

Del análisis de caudales diarios se puede determinar las características de los caudales extremos, magnitud, frecuencia y momento de ocurrencia, así como la magnitud de los cambios de caudal que se producen de día en día, lo que va a completar las características que definen el comportamiento del régimen de caudales característico. En la tabla siguiente se muestra el valor de los parámetros calculados con los datos de los aforos, tanto el valor medio del parámetro, como su desviación típica y un rango de variación natural que corresponde al intervalo **media  $\pm$  D.T.**

Como las estaciones de aforo no se ubican exactamente en los tramos donde se ha tratado de restablecer el régimen de caudales ecológicos, los valores de magnitud de los caudales extremos se expresan de forma relativa con respecto al caudal medio,

esto supone que en la tabla aparecen el número de veces que es mayor o menor el caudal máximo o el caudal mínimo con respecto al valor del caudal medio.

**Tabla 4. Parámetros Hidrológicos calculados en la estación de Monachil, Dilar y Aguas Blancas. Grupo 1. Medias móviles máximas y mínimas de intervalos diferentes de días de duración. Grupo 2 día del año juliano de aparición del caudal máximo y mínimo anual. Grupo 3 Frecuencia y duración en días de las avenidas y los estiajes (considerados estos como los valores por encima del percentil 75 o por debajo del 25). Grupo 4 Variaciones en el caudal y duración de las mismas.**

<b>Monachil</b>		Caudal medio	0,86		
	<b>Media</b>	<b>Desv, Tip</b>	<b>Med +</b>	<b>Med -</b>	
<b>Caudales extremos (valores relativos al módulo)</b>					
Media Max1D	6,36	4,88	12,04	0,68	
Media min1D	0,05	0,09	0,15	0,00	
Media Max3D	5,03	3,76	9,40	0,66	
Media min3D	0,07	0,10	0,19	0,00	
Media Max7D	4,11	3,20	7,84	0,38	
Media min7D	0,15	0,12	0,29	0,01	
Media Max30D	2,57	1,52	4,33	0,80	
Media min30D	0,24	0,15	0,41	0,07	
Media Max90D	1,79	0,89	2,82	0,75	
Media min90D	0,42	0,18	0,63	0,21	
<b>Fecha ocurrencia (año juliano)</b>					
Día máximo	91	80	171	11	
Día mínimo	264	31	295	233	
<b>Frecuencia caudales extremos</b>					
Fre Crecidas,	15	5	20	10	
Duración Crecidas	6	3	8	3	
Fre Estiajes,	10	3	14	7	
Duración Estiajes,	6	5	11	1	
<b>Variaciones diarias de caudal</b>					
Nº de ascensos	53	15	68	38	
Nº de descensos	60	17	76	43	
Media ascensos m <sup>3</sup> /s	0,35	0,19	0,54	0,16	
Media descensos m <sup>3</sup> /s	0,31	0,16	0,47	0,15	

<b>Dilar</b>		Caudal medio	0,85		
	<b>Media</b>	<b>Desv, Tip</b>	<b>Med +</b>	<b>Med -</b>	
<b>Caudales extremos (valores relativos al módulo)</b>					
Media Max1D	6,49	7,14	14,88	2,24	
Media min1D	0,12	0,09	0,23	0,01	
Media Max3D	5,55	6,63	13,35	1,92	
Media min3D	0,14	0,09	0,25	0,03	
Media Max7D	4,38	4,01	9,10	0,34	
Media min7D	0,18	0,09	0,28	0,08	

Media Max30D	2,93	1,60	4,82	1,05
Media min30D	0,28	0,14	0,44	0,11
Media Max90D	1,91	1,01	3,10	0,73
Media min90D	0,43	0,23	0,70	0,16
<b>Fecha ocurrencia (año juliano)</b>				
Día máximo	88	89	177	365
Día mínimo	232	54	286	178
<b>Frecuencia caudales extremos</b>				
Fre Crecidas,	15	5	20	10
Duración Crecidas	6	3	8	3
Fre Estiajes,	10	3	14	7
Duración Estiajes,	6	5	11	1
<b>Variaciones diarias de caudal</b>				
Nº de ascensos	62	27	89	36
Nº de descensos	88	24	111	64
Media ascensos m <sup>3</sup> /s	0,31	0,21	0,51	0,10
Media descensos m <sup>3</sup> /s	0,21	0,12	0,33	0,09

<b>Aguas Blancas</b>		Caudal medio		0,27	
	<b>Media</b>	<b>Desv, Tip</b>	<b>Med +</b>	<b>Med -</b>	
<b>Caudales extremos (valores relativos al módulo)</b>					
Media Max1D	2,76	1,25	7,38	1,89	
Media min1D	0,04	0,02	0,12	0,00	
Media Max3D	2,15	0,91	5,51	1,19	
Media min3D	0,07	0,03	0,19	0,00	
Media Max7D	1,80	0,75	4,56	0,96	
Media min7D	0,08	0,04	0,22	0,00	
Media Max30D	1,15	0,45	2,83	0,52	
Media min30D	0,14	0,05	0,35	0,00	
Media Max90D	0,88	0,36	2,22	0,48	
Media min90D	0,19	0,07	0,44	0,00	
<b>Fecha ocurrencia (año juliano)</b>					
Día máximo	20	64	84	321	
Día mínimo	222	37	259	185	
<b>Frecuencia caudales extremos</b>					
Fre Crecidas,	15	5	20	10	
Duración Crecidas	3	4	7	1	
Fre Estiajes,	10	3	14	7	
Duración Estiajes,	3	4	7	1	
<b>Variaciones diarias de caudal</b>					
Nº de ascensos	38	41	79	0	
Nº de descensos	44	49	93	0	
Media ascensos m <sup>3</sup> /s	0,07	0,05	0,11	0,02	
Media descensos m <sup>3</sup> /s	0,06	0,04	0,09	0,02	

Estos valores, tal y como se ha razonado anteriormente no son directamente aplicables a los tramos al encontrarse localizados en sitios diferentes, y evidentemente

las magnitudes de los caudales son distintas, pero sin embargo las características de la cuenca no cambian excesivamente, lo cuál puede permitirnos asumir de forma razonable que las relaciones entre los caudales extremos y el caudal medio y las otras pautas de los caudales calculadas en los tramos aforados, se pueden extrapolar al diseño de caudales de los tramos en los que se pretende establecer el régimen ecológico de caudales, en cada uno de los ríos. Puesto que las cuencas sin aforos del Darro y el Beas están más próximas a la del Aguas Blancas, se utilizaran los parámetros de este último río para hacer la misma operación de diseño del régimen en estos dos ríos sin aforar.

De esta forma se puede recomendar para completar el diseño del régimen de caudales ambientales del tramo aguas abajo del Monachil que:

Con respecto a las avenidas:

<b>Característica</b>	<b>Valor medio</b>	<b>Intervalo</b>
Magnitud de las avenidas	6,36 veces superiores al caudal medio	Entre 12 y 0,68 veces el caudal medio
Momento de ocurrencia de la máxima avenida	Día 91 del año juliano (30 de Marzo)	Intervalo natural entre los días 11-171
Frecuencia de las avenidas en el año	15	Intervalo natural entre 20-10
Duración de las avenidas en días	6 días	Intervalo natural entre 8-3 días

Con respecto a los estiajes:

<b>Característica</b>	<b>Valor medio</b>	<b>Intervalo</b>
Magnitud de los estiajes	0,05 veces el caudal medio	Entre 0,15 y 0 el caudal medio
Momento de ocurrencia del día de menor caudal	Día 264 del año juliano (23 de Agosto)	Intervalo natural entre los días 295-233
Frecuencia de los momentos de caudales bajos en el año	10	Intervalo natural entre 14-7
Duración de los periodos secos	6 días	Intervalo natural entre 11-1 días

Para completar el diseño del régimen de caudales ambientales del tramo estudiado en el Dilar:

Con respecto a las avenidas:

<b>Característica</b>	<b>Valor medio</b>	<b>Intervalo</b>
Magnitud de las avenidas	6,49 veces superiores al caudal medio	Entre 14,88 y 2,24 veces el caudal medio
Momento de ocurrencia de la máxima avenida	Día 88 del año juliano (25 de Marzo)	Intervalo natural entre los días 365-177
Frecuencia de las avenidas en el año	15	Intervalo natural entre 20-10
Duración de las avenidas en días	6 días	Intervalo natural entre 8-3 días

Con respecto a los estiajes:

<b>Característica</b>	<b>Valor medio</b>	<b>Intervalo</b>
Magnitud de los estiajes	0,12 veces el caudal medio	Entre 0,23 y 0,01 el caudal medio
Momento de ocurrencia del día de menor caudal	Día 232 del año juliano (21 de Julio)	Intervalo natural entre los días 178-286
Frecuencia de los momentos de caudales bajos en el año	10	Intervalo natural entre 14-7
Duración de los periodos secos	6 días	Intervalo natural entre 11-1 días

Finalmente para completar el diseño del régimen de caudales ambientales del resto de tramos en el Aguas Blancas, Darro y Beas, se deberá tener en cuenta que:

Con respecto a las avenidas:

<b>Característica</b>	<b>Valor medio</b>	<b>Intervalo</b>
Magnitud de las avenidas	2,76 veces superiores al caudal medio	Entre 7,38 y 1,89 veces el caudal medio
Momento de ocurrencia de la máxima avenida	Día 20 del año juliano (20 de Enero)	Intervalo natural entre los días 321-84
Frecuencia de las avenidas en el año	15	Intervalo natural entre 20-10
Duración de las avenidas en días	3 días	Intervalo natural entre 7-1 días

Con respecto a los estiajes:

Característica	Valor medio	Intervalo
Magnitud de los estiajes	0,04 veces el caudal medio	Entre 0,02 y 0 el caudal medio
Momento de ocurrencia del día de menor caudal	Día 222 del año juliano (11 de Julio)	Intervalo natural entre los días 185-259
Frecuencia de los momentos de caudales bajos en el año	10	Intervalo natural entre 14-7
Duración de los periodos secos	3 días	Intervalo natural entre 7-1 días

## 6.2 RESULTADOS FAUNA ASOCIADA

Antes de pasar a detallar los aspectos particulares encontrados con los diferentes métodos de estimación de caudales, describiremos algunos aspectos ligados a la fauna acuática de mayor relevancia presente en los tramos y sus dependencias del régimen de caudales lo que ha condicionado algunos aspectos del método de trabajo, como las curvas de preferencia elegidas, o la definición de algunos componentes del régimen de caudales propuesto.

La consulta de la fauna piscícola ha determinado la presencia de las siguientes especies en los tramos estudiados, en los ríos Monachil y Dilar hay trucha común, en los ríos Darro y Beas no hay poblaciones piscícolas a la altura de los tramos trabajados, y finalmente en el Aguas Blancas, hay trucha arcoiris.

Con respecto al muestreo de macroinvertebrados realizado en la campaña de verano se obtuvieron las siguientes familias:

**Tabla 5. Familias y abundancias de macroinvertebrados encontrados en los ríos de Granada.**

	BEAS 11/7/06		MONACHIL 11/7/06		AGUAS BLANCAS 11/7/06		DILAR 11/7/06		DARRO 11/7/06	
	Familias	Abundancia	Familias	Abundancia	Familia	Abundancia	Familia	Abundancia	Familia	Abundancia
Oligochaeta	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
Erpobdellidae	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Glossiphonidae	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Hydrobiidae	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
Ancylidae	1	3	1	6	0	0	0	0	1	25
Baetidae	1	39	1	42	1	1	1	1	1	111
Caenidae	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Ephemereillidae	1	1	1	1	1	1	0	0	1	2
Leuctridae	0	0	0	0	1	26	0	0	0	0

Guerridae	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
Nepidae	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
Glossosomatidae	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
Hydropsychidae	1	11	1	9	0	0	0	0	1	14
Phylopotamidae	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0
Rhyacophilidae	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0
Elmidae	1	3	0	0	0	0	0	0	1	13
Chironomidae	1	16	1	1	0	0	0	0	0	0
Simuliidae	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
Tipulidae	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0

### 6.3. DESCRIPCIÓN DE ESTACIONES

Las estaciones sobre las que se ha realizado el trabajo de campo son las siguientes:

#### Estación 1: Río Darro

El tramo elegido se encuentra aguas arriba de una pequeña urbanización en el pueblo de Huetor de Santillan, antes del viaducto de la autovía de Baza, en un valle estrecho entre olivares y cultivos de huerta.

Coordenadas U.T.M.: 30S0453971 Y:4120067

Altitud: 1040 m

Distancia al nacimiento: 10,2 Km

#### Estación 2: Río Beas

El tramo se encuentra junto al pueblo de Beas de Granada, en una zona de huertas, a la que se accede por un camino al cruzar el puente que cruza el mismo río en este pueblo.

Coordenadas U.T.M.: 30S0457988 Y:4120562

Altitud: 1120 m

Distancia al nacimiento: 5 Km

#### Estación 3: Río Aguas Blancas

El tramo se encuentra junto a la carretera que asciende por el valle hacia La Peza, localizada en la cola del embalse de Quentar, en una zona amplia con un buen bosque de ribera.

Coordenadas U.T.M.: 30S0462095 Y: 4119545

Altitud: 1.097 m.

Distancia al nacimiento: 10 Km

**Estación 2: Río Monachil**

El tramo se encuentra aguas arriba del Pueblo de Monachil, en junto a la estación de tranvías, que hoy es una central hidroeléctrica.

Coordenadas U.T.M.: 30S0453471 Y:4109319

Altitud: 972 m

Distancia al nacimiento: 20.5 Km

**Estación 2: Río Dilar**

Desde el pueblo de Dilar ascendiendo por el camino que lleva al aula de la naturaleza, se alcanza una zona extensa y amplia con varios cultivos forestales de chopos, en la zona más recta se encuentra el tramo de trabajo de este río.

Coordenadas U.T.M.: 30S0449530 Y:4102499

Altitud: 967 m

Distancia al nacimiento: 17 Km

**Tabla 6.- Localización de las estaciones de muestreo.**

<b>Estación</b>	<b>Coordenada X</b>	<b>coordenada Y</b>	<b>Altitud</b>	<b>Paraje</b>
Darro	453971	4120067	1040	Huetor- Santillan
Beas	457988	4120562	1120	Collado de la Mimbre
Dilar	449530	4102499	967	
Monachil	453471	4109319	972	Estación de tranvías
Aguas Blancas	462095	4119545	1097	Cortijo de Martín Garcia

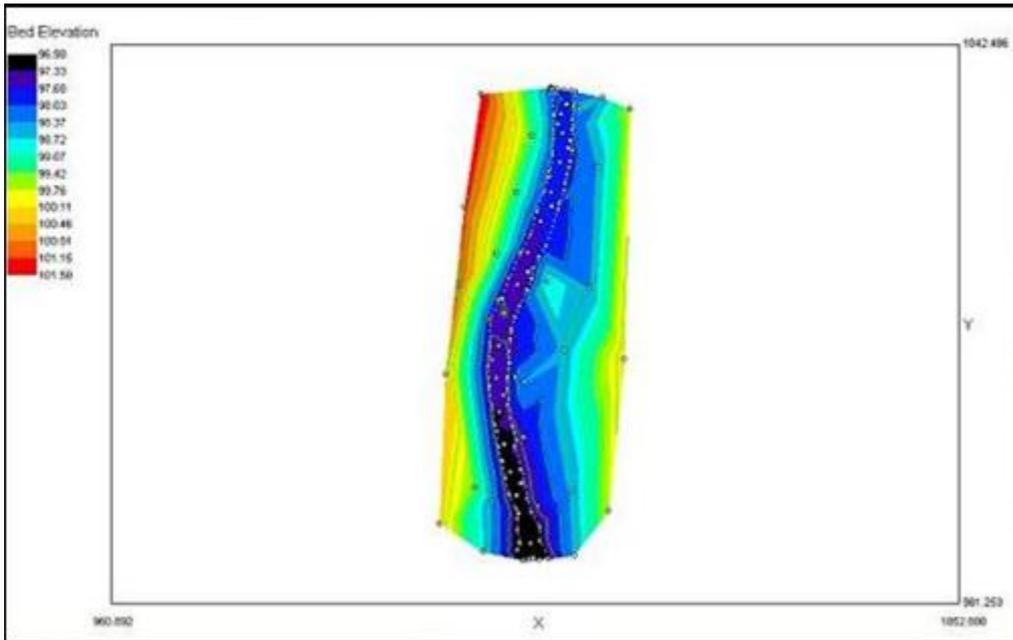
La topografía obtenida en los trabajos de campo de cada una de las estaciones de muestreo, se representa en las figuras 7 a 13. En ellas se puede ver la planta de los cinco tramos con la elevación del terreno y los puntos tomados con la estación total.

**Tramo 1.- Río Darro**

En la siguiente imagen se aprecia la geomorfología del tramo, es un tramo recto y estrecho, encajado en un valle cerrado entre dos laderas de fuerte pendiente la izquierda más antropizada, con cultivos de huerta, la derecha con parte de vegetación natural y olivares muy abiertos. En la orilla izquierda existe una terraza sobre la que se asienta un huerto. El tramo es bastante uniforme formado por una secuencia de pequeños rápidos.

El tramo estudiado tiene una longitud de unos 51 metros y una anchura de 3.45 m. La profundidad llega a ser de 30 cm en algunos puntos.

**Sustrato:** En el sustrato predominan los cantos y arenas, en algunas zonas la superficie del lecho estaba cubierta de vegetación acuática. La proporción granulométrica es de 20 % limo, 40 % arena, y 40 % cantos.



**Figura 10. Topografía en planta de la estación 1 en el río Darro.**



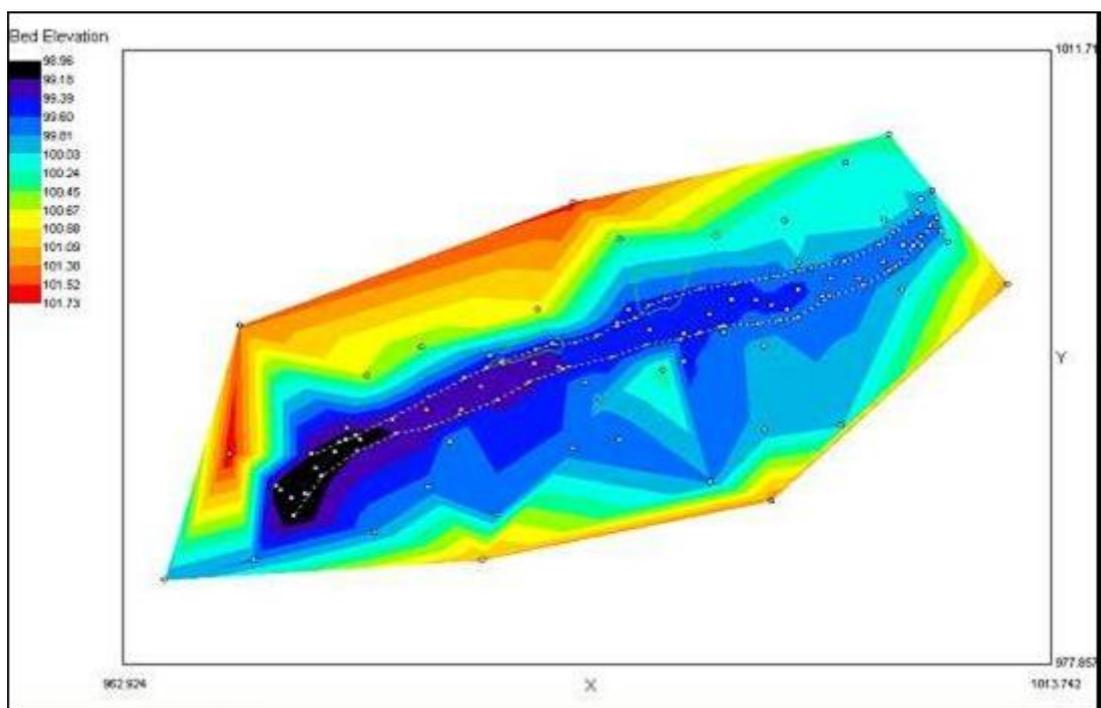
**Figura 11. Vista del tramo analizado en la campaña de primavera, se aprecia la escasa vegetación de ribera y los cultivos próximos al cauce.**

**Ribera y orillas:** Las orillas están constituidas principalmente por limos y arcillas bien cohesionados, no hay síntomas de inestabilidad, la pendiente de los taludes es pequeña < de 20 %, y está bien cubierta por vegetación herbácea.

**Vegetación de riberas:** Formada por una estrecha franja de sauces arbustivos. Ausente en más del 50 % de la longitud de la orilla, en verano se produjo un incremento notable de la vegetación de ribera herbácea, posiblemente producido por el alto contenido en nutrientes proveniente de los huertos cercanos.

### **Tramo 2.- Río Beas**

El tramo del río Beas está muy deteriorado, prácticamente inexistente por las detracciones de agua e invadidos sus márgenes por prados y huertos. La zona en la que se trabajó es bastante llana, el tramo recto y estrecho con muy poca inclinación en su taludes, vegetación de ribera escasa formada principalmente por herbáceas. En la siguiente imagen se aprecia la geomorfología del tramo.



**Figura 12. Topografía en planta de la estación 2 en el río Beas.**

El tramo estudiado tiene una longitud de unos 42 metros y una anchura de 2.2 m. La profundidad normalmente muy pequeña no llega a alcanzar los 30 cm en la campaña de primavera.

**Sustrato:** En el sustrato predomina principalmente la grava. La proporción granulométrica es de 10 % arena, 80 % grava y 10 % cantos.



**Figura 13. Vista del tramo analizado en la campaña de verano, el cauce muy estrecho y apenas sin agua.**

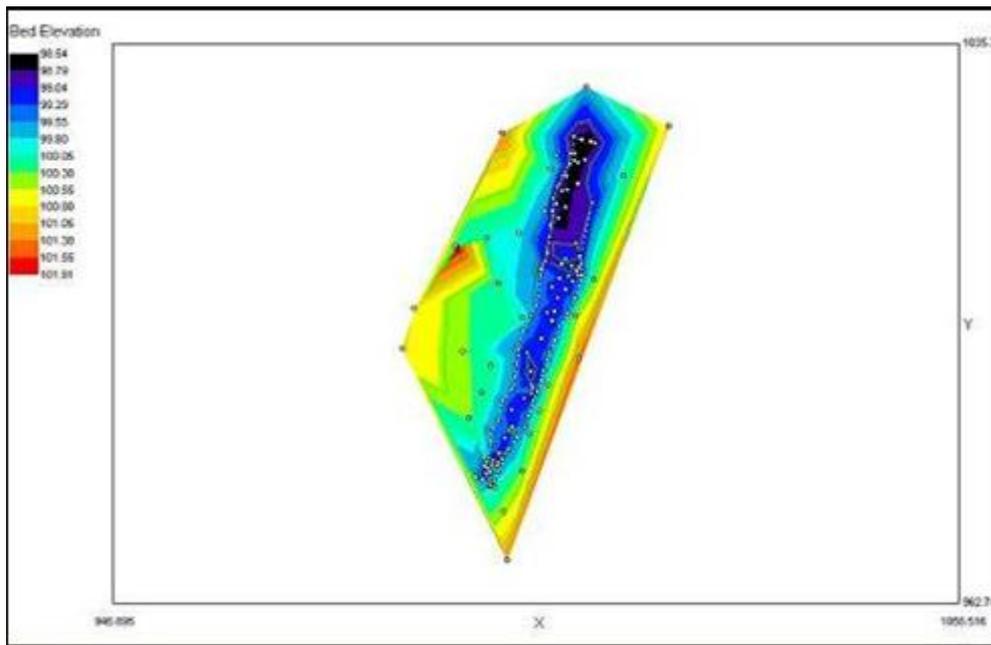
**Ribera y orillas:** Las orillas están constituidas principalmente por arenas la estabilidad de las orillas es buena, la pendiente de los taludes es muy pequeña lo que facilita la inundación de los márgenes, está bien cubierta por vegetación herbácea.

**Vegetación de riberas:** El ancho de esta vegetación es de apenas 1 m. formado por algunos ejemplares sueltos de sauces arbustivos *Salix fragilis* y *Salix salvifolia*, no hay chopos, ni álamos. Abundan los juncos y loníceras.

### **Tramo 3.- Río Aguas Blancas**

El tramo del río Aguas Blancas se encuentra al final de la cola del embalse de Quentar, en una zona de valle ligeramente más amplia que en los tramos aguas abajo, con una buena representación de bosque de ribera, en algunos casos formados por chopos de repoblación. El tramo es recto, presentando un fuerte talud en la orilla derecha que sube hacia la carretera, la pendiente es más tendida en la orilla izquierda.

La topografía en planta del tramo estudiado se encuentra en la siguiente imagen.



**Figura 14. Topografía en planta de la estación 3 en el río Aguas Blancas.**

El tramo estudiado tiene una longitud de unos 49 metros y una anchura de 5.5 m. La profundidad es pequeña alrededor de unos 50 cm aunque en algunas zonas alcanza los 70 cm. Existe una buena sucesión de rápidos y remansos.

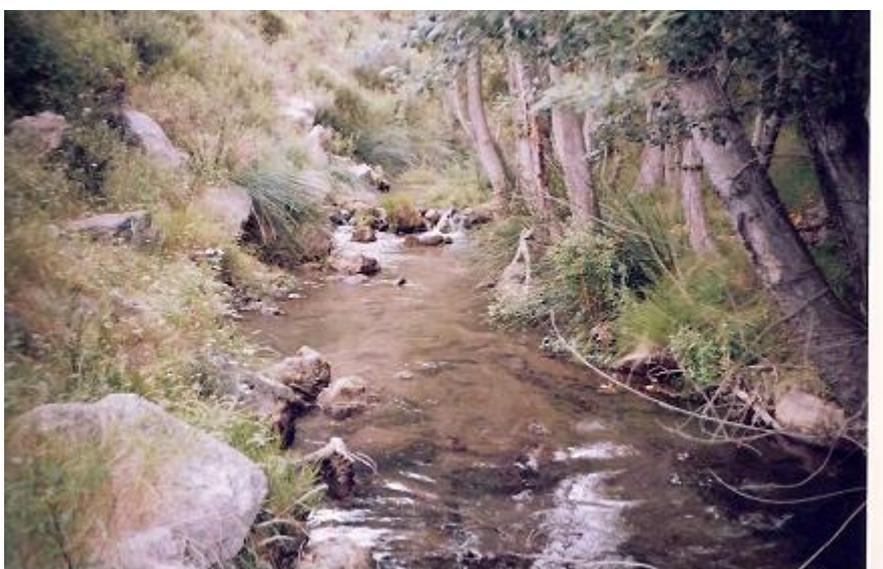
**Sustrato:** Constituido principalmente por roca madre y arena. La proporción granulométrica es de 10 % limo, 40 % arena y 50 % roca madre.



**Figura 15. Vista del tramo analizado en la campaña de primavera, con fuerte pendiente hacia la carretera en la orilla derecha y un bosque de chopo en la izquierda.**

**Ribera y orillas:** Las orillas están constituidas principalmente por roca madre en la orilla derecha y limos y arenas en la izquierda, existiendo una cierta inestabilidad de esta última, por pisoteo y ausencia de vegetación herbácea. La pendiente de esta orilla es pequeña lo que facilita la inundación del bosque de ribera.

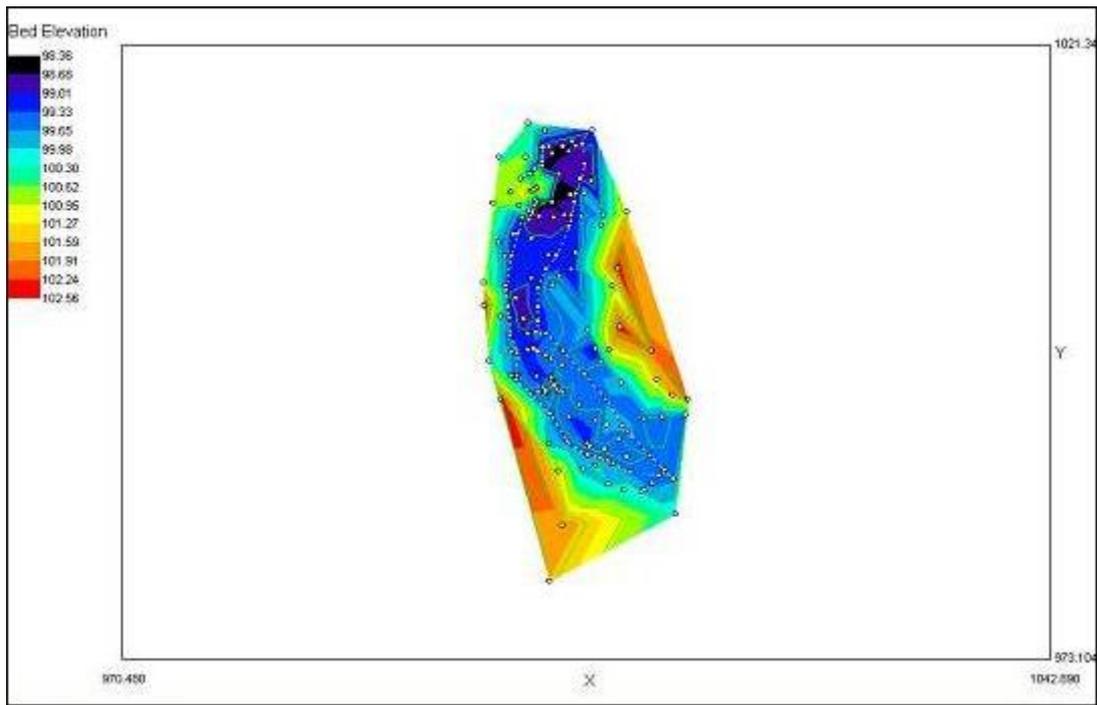
**Vegetación de riberas:** Se diferencia la situación entre las orillas, el ancho apenas llega a los 2 m. en la derecha aunque está constituida por roca, está bien cubierta de vegetación, con zarza, junco y algún ejemplar de sauce, fresno y majuelo. En la orilla izquierda predomina el bosque de *Populus canadensis*, con ejemplares aislados de **Salix salvifolia**, *Salix eleagnos* y *Salix atrocinerea*.



**Figura 16. Vista del tramo analizado en la campaña de verano, en esta imagen se aprecia la sucesión de zonas de rápidos y pequeñas pozas en el tramo.**

#### **Tramo 4.- Río Monachil**

Corresponde el tramo donde se realizó el levantamiento topográfico a una zona sinuosa, encajada ligeramente en un valle muy cerrado. Cuenta con una pendiente pronunciada en la orilla izquierda y más pequeña en la derecha, el tramo que discurre en su mayor parte con aguas rápidas, termina en una poza, existiendo varios saltos rocosos intermedios. La siguiente imagen muestra la topografía en planta del tramo estudiado.



**Figura 17. Topografía en planta de la estación 4 en el río Monachil.**

El tramo estudiado tiene una longitud de unos 30,24 metros y una anchura de 5 m. Existe una gran variedad de zonas con diferente profundidad y velocidad del agua, con varios saltos interesantes entre grandes bloques de piedra.

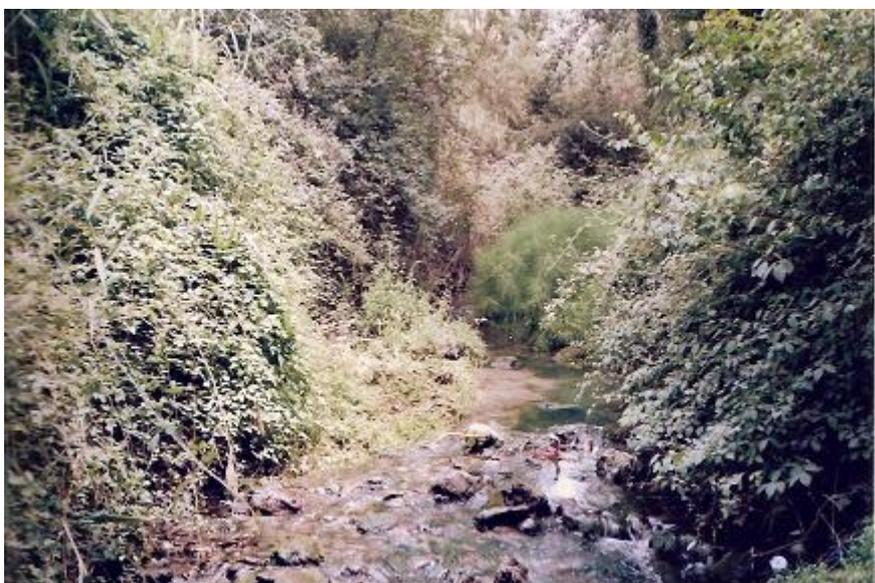
**Sustrato:** Además de los grandes bloques se encuentra constituido arena y grava. La proporción granulométrica es de 40 % arena, 20 % grava y 40 % roca madre.



**Figura 18. Vista del tramo analizado en la campaña de primavera, sucesión de diferentes microhábitat, con zonas remansadas y rápidos entre los bloques de piedra.**

**Ribera y orillas:** Las orillas están constituidas principalmente por roca madre y en algunas zonas gravas y arenas, la estabilidad de la orilla derecha es buena, sin embargo la izquierda es más inestable al tener más pendiente y escasa vegetación. Esto hace que la inundabilidad de esta última orilla sea más difícil.

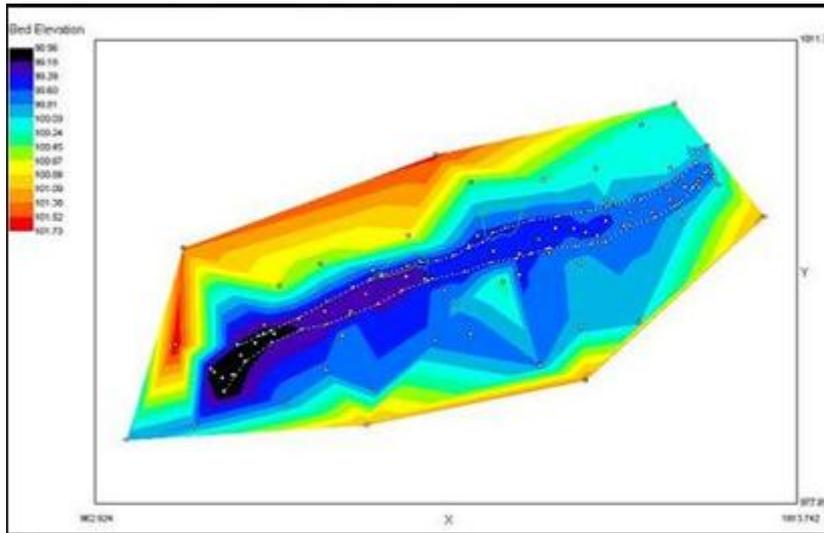
**Vegetación de riberas:** Bien cubierta la orilla por bosque de ribera en el lado derecho y alrededor del 75 % en el izquierdo, el ancho de ribera oscila entre los 2 y los 3 m. Predomina el bosque de *Populus canadiensis* y *Populus nigra*, con ejemplares aislados de *Salix salvifolia*, es muy abundante la zarza también existen trepadoras como algunos ejemplares de *Lonicera sp.*



**Figura 19. Vista del tramo analizado en la campaña de verano, con la bajada de caudal se aumenta la monotonía, desapareciendo las zonas más profundas. La vegetación invade parte del cauce.**

**Tramo 4.- Río Dilar**

El tramo de este río donde se realizó el trabajo es muy recto, flanqueado por un camino y plantaciones de chopo de repoblación en la otra orilla. Aunque nos encontramos en un valle cerrado próximo a las cubres, la zona donde está el tramo es amplia y tiene bastante superficie cultivada. La siguiente imagen muestra la topografía en planta del tramo estudiado.



**Figura 20. Topografía en planta de la estación 5 en el río Dilar.**

El tramo estudiado tiene una longitud de unos 36.84 metros y una anchura de 3.2 m. Es un tramo monótono en cuanto a profundidades, éstas se encuentran entre los 20 y 30 cm en la primavera.

**Sustrato:** Variedad granulométrica en cuanto a tamaños, desde la arena, a la grava, los cantos y los bolos, con zonas de grandes bloques. La proporción granulométrica es de 20 % arena, 30 % grava, 30 % canto 20 % bolo.



**Figura 21. Vista del tramo analizado en la campaña de primavera, tramo recto con una sucesión de rápidos con algunos bloques de piedra.**

**Ribera y orillas:** Las orillas se encuentran estabilizadas por la vegetación, tampoco son muy abundantes los materiales sueltos. El ancho es pequeño puesto que por un lado hay un camino y por el otro una repoblación de chopo, los anchos oscilan entre los 1,5 a 2 m. La inundabilidad de las orillas se ve facilitada por la poca pendiente y no existir procesos de incisión.

**Vegetación de riberas:** El recubrimiento de la orilla por el bosque de ribera oscila entre el 60 y el 70 %. Existen bastantes chopos repoblados *Populus canadensis* y pocos ejemplares de *Salix salvifolia*, es abundante la zarza también algunas matas de *Loníçera sp.*

#### **6.4.- CAUDALES MEDIDOS POR ESTACIONES**

En la tabla 6 se exponen los valores de caudal aforados en cada una de las estaciones en las dos campañas, así como las cotas de la lámina de agua, aguas arriba y aguas debajo de la campaña de primavera.

**Tabla 7.- Elevación de la lámina de agua y caudal en las dos campañas de muestreo**

Estación	Río	Marzo de 2005	Julio de 2005	Altura de entrada (m)	Altura de salida (m)
		Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)		
<b>1</b>	Darro	0,207	0,106	1041.051	1040.056
<b>2</b>	Beas	0,925	0,004	1120,782	1120.104
<b>3</b>	Aguas Blancas	0,340	0,123	1098,796	1097,658
<b>4</b>	Monachil	0,394	0,070	973,705	972,759
<b>5</b>	Dilar	0,156	0,085	967,933	967,068

En la primera campaña se midieron los caudales en Marzo (3-3-06), en la segunda campaña (11-7-06) se repitió la medida de caudales, para evaluar las condiciones de estiaje. En esta segunda campaña de mediciones se observa un tremendo descenso en todos ellos que rebajan su volumen a más de la tercera parte, en el caso del río Beas, el caudal es muy pequeño y en algunas partes no se aprecia la circulación de agua al ir esta entre los cantos y bloques que forman el lecho.

### 6.5- SIMULACIÓN HIDRÁULICA

En cada tramo estudiado la simulación ha sido realizada con diferentes valores de caudal, considerando incrementos sucesivos de caudal normalmente comenzando con pequeños incrementos de 100 l/s hasta llegar a aquellos caudales en los que la curva se estabiliza o bien disminuye la habitabilidad.

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.

Para que el programa RIVER2D simule el comportamiento del río con diferentes caudales es necesario hallar los coeficientes “α” y “b” en la expresión de la curva de gasto

$$q = a \cdot p^b$$

donde “q” es el caudal por unidad de anchura (m<sup>2</sup>/s) y “p” la profundidad.

**Estación 1. Río Darro.**

La localización de la estación de trabajo de este río se situó a unos 700 m aguas arriba del puente que en Hueter- Santillan cruza el río, el punto se observa en el siguiente plano e imagen aérea.

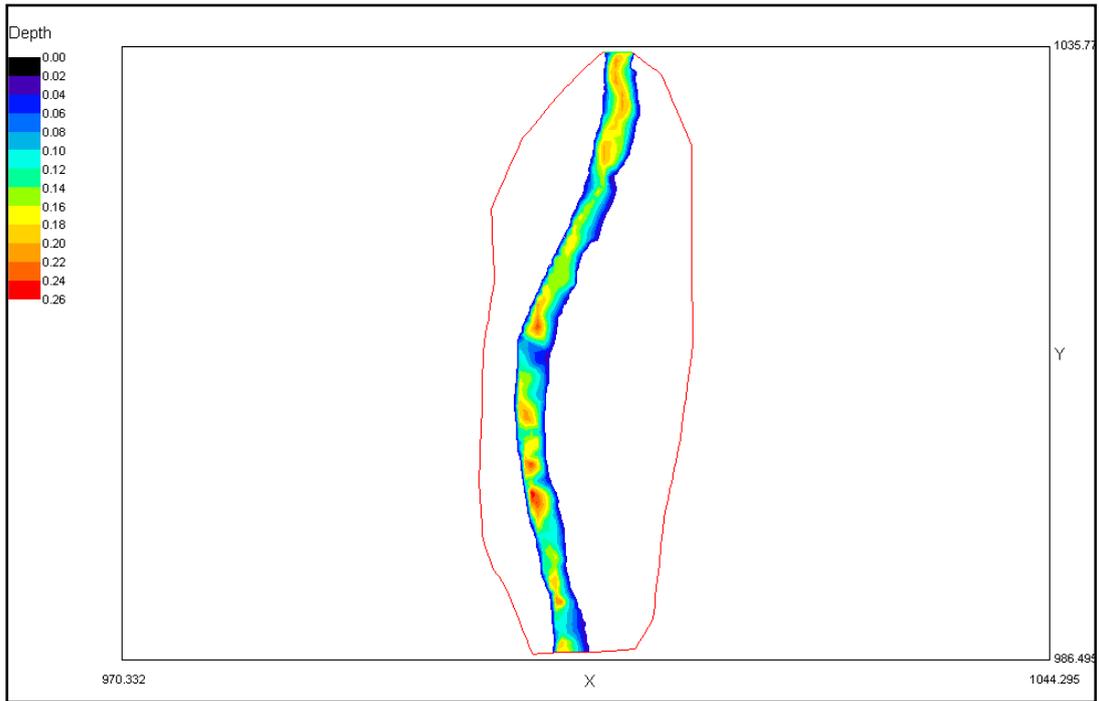


**Figura 22. Localización de la estación de muestreo en el río Darro.**

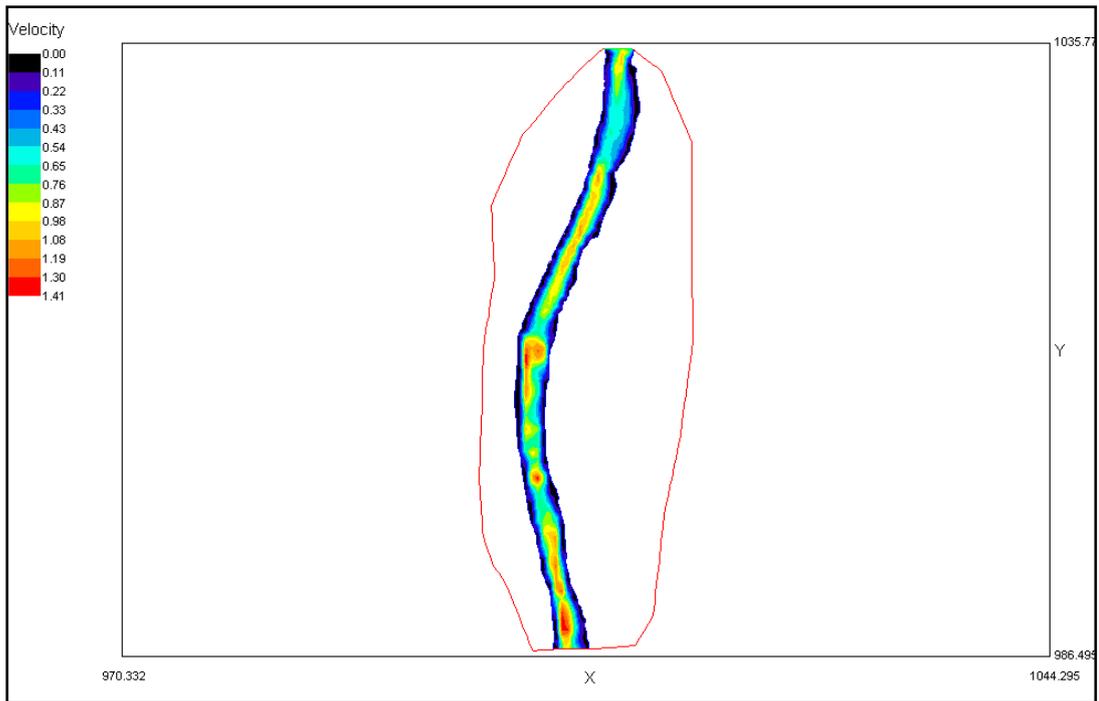


**Figura 23.- Fotografía aérea del tramo de estudio y parte de la cuenca en la estación del río Darro, aguas arriba de la urbanización. E:1:2000.**

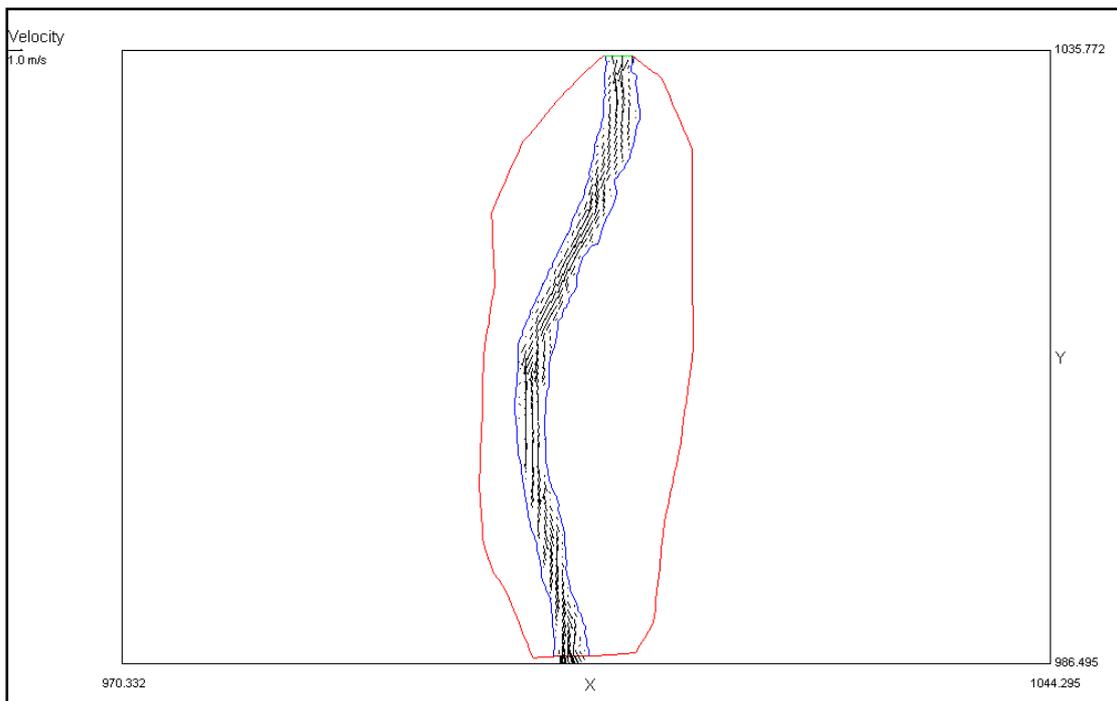
Una vez realizada la simulación se obtienen diversos parámetros hidráulicos que conforman el hábitat de las especies, mostramos en las siguientes figuras el resultado de la simulación para un caudal de  $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ , se muestran vistas de los resultados en cuanto a profundidades, velocidades, distribución del número de Froude y habitabilidad combinada, para comparar como varía esta última también se muestra con un caudal de  $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$ .



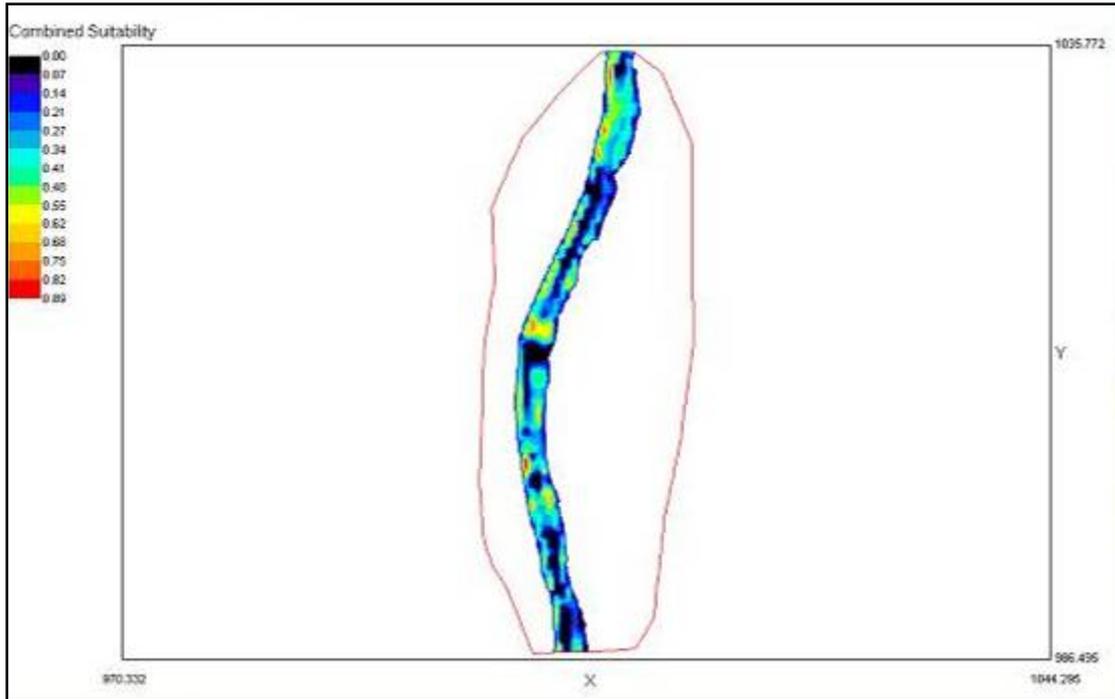
**Figura 24.- Distribución de profundidades, estación 1 caudal 0,2 m<sup>3</sup>/s.**



**Figura 25. Distribución de velocidades en la estación 1 con un caudal de 0,2 m<sup>3</sup>/s.**

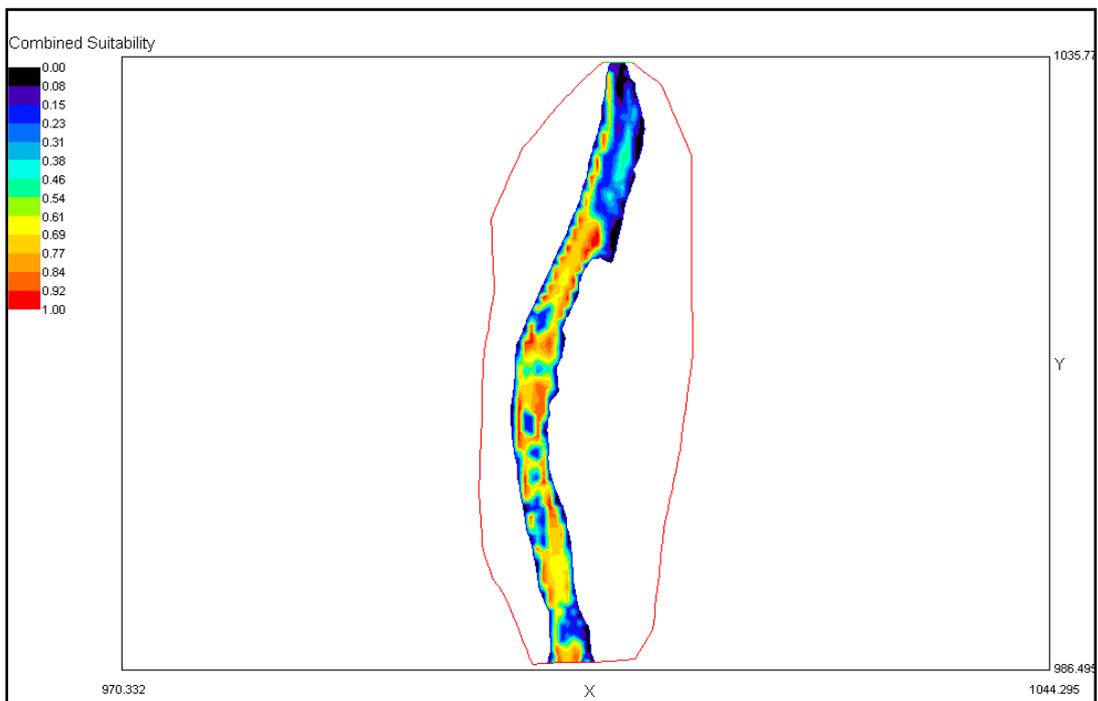


**Figura 26. Líneas de flujo y vector velocidad en la estación 1 con un caudal de 0,2 m<sup>3</sup>/s.**



**Figura 27. Habitabilidad del tramo al simular con un caudal de 0,2 m³/s**

En la figura siguiente se observa el cambio producido en la habitabilidad del río para macroinvertebrados al aumentar a un caudal de 0,7 m³/s

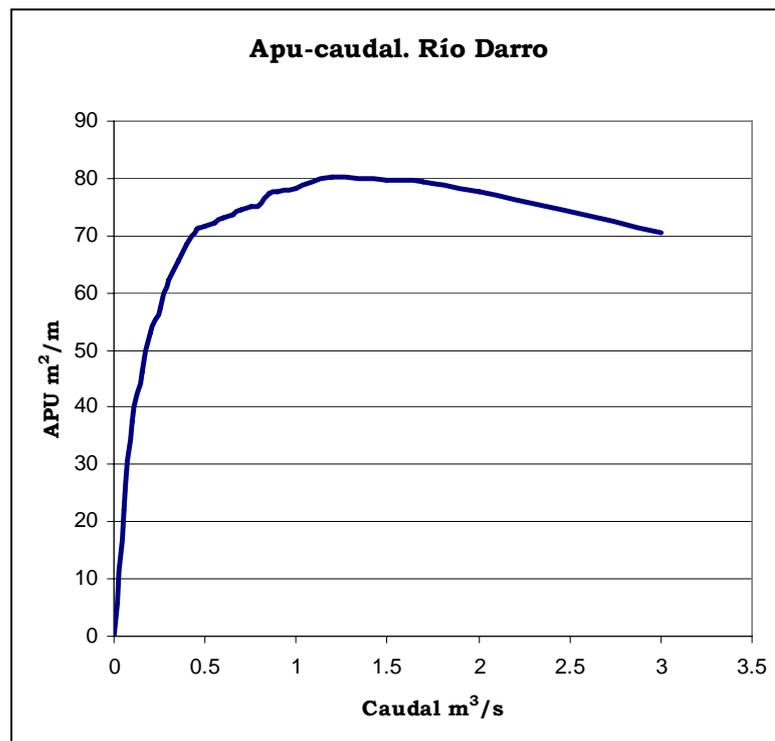


**Figura 28. Habitabilidad del tramo al simular con un caudal de 0,7 m³/s**

Como se aprecia en la figura las condiciones son adecuadas en caudales bajos para albergar poblaciones de macroinvertebrados, intentando conseguir la máxima diversidad.

La simulación se realizó en esta estación ajustando los parámetros “ $\alpha$ ” y “ $b$ ”, a 2,5 y 1,67 respectivamente.

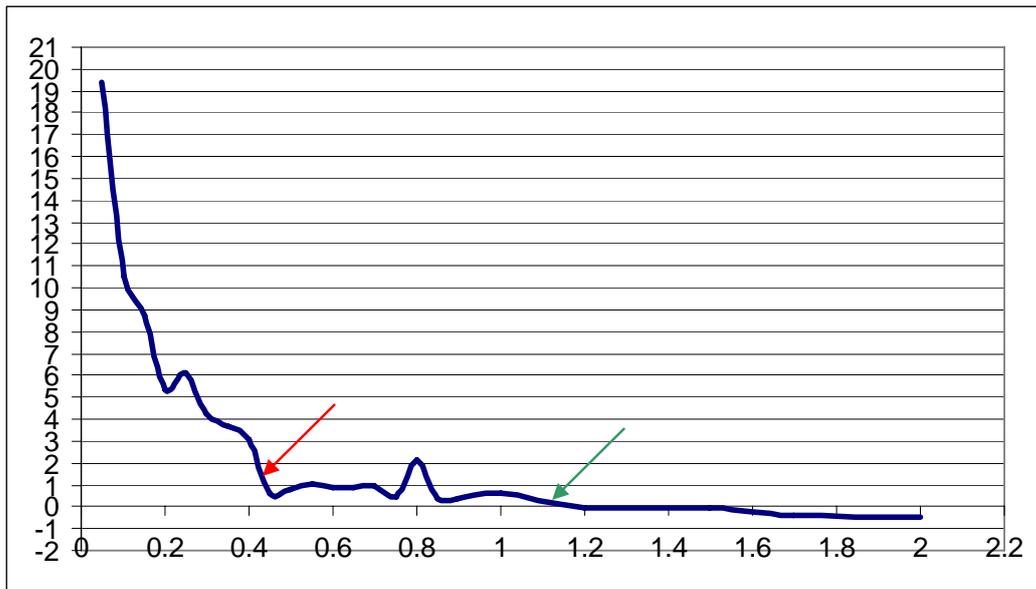
En este tramo se han obtenidos los siguientes APU para macroinvertebrados adaptando varias curvas disponibles y considerando la fauna invertebrada obtenida en los muestreos.



**Figura 29. Resultados APU-caudal para la estación 1 en el río Darro**

Se observa un aumento inicial muy grande y un cambio en el incremento de APU alrededor de los 0,4 m³/s, llegándose a un máximo sobre los 1,2 m³/s, para descender a partir de ese valor.

Una vez uniformizada la curva con respecto al máximo APU y al máximo caudal simulado, se calcula la pendiente de esta relación, en la representación gráfica observamos el valor de caudal que produce una pendiente igual a uno, así como el valor a partir del cual las pendientes son negativas, es decir perdemos hábitat.



**Figura 30.- Relación pendiente de la curva APU del adulto con el caudal, puntos de cambio significativo de este en el tramo 1 correspondiente al río Darro.**

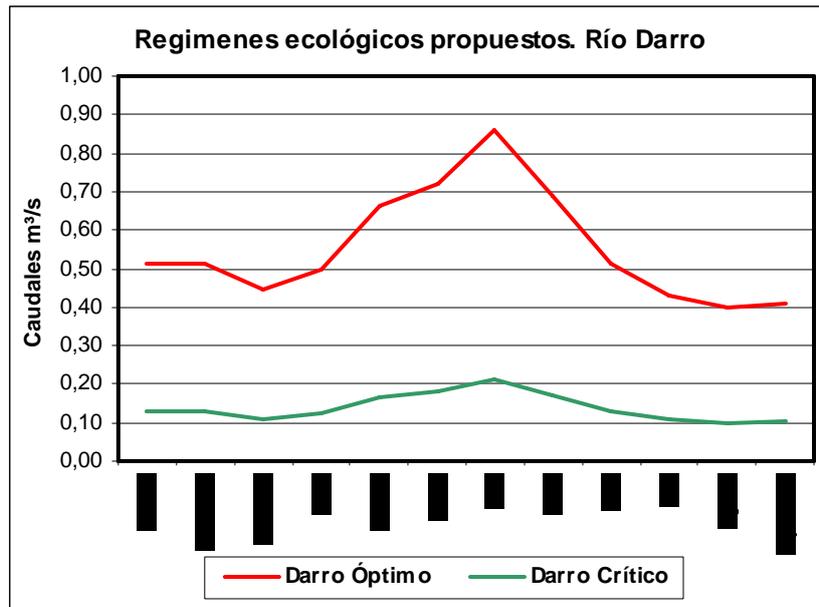
El tramo presenta buenas aptitudes para albergar macroinvertebrados, al menos hasta que se llega a caudales entre 1 y 2 m<sup>3</sup>/s.

Es discutible al menos la posibilidad de albergar peces, por lo que se ha optado mejor por el intento de maximizar el hábitat de la población biológica que mejor se conoce.

**Con estos resultados se considera que se podría dejar un caudal ecológico mínimo que mantenga la diversidad y abundancia de macroinvertebrados en el tramo de 0,1 m<sup>3</sup>/s, y finalmente un caudal ecológico óptimo para años de aguas abundantes de 0,4 m<sup>3</sup>/s, que es el que produciría la mayor cantidad de hábitat en el tramo.**

Estos resultados tendrán que contrastarse con un modelo que calcule la cantidad de agua que discurre por el tramo, puesto que al no disponerse de datos de aforo, no es posible disponer del análisis de caudales diarios que el río mantiene en estiaje. Puesto que aquí se está tratando de optimizar el hábitat de los macroinvertebrados, es posible que los caudales sugeridos como mínimo ecológico sean superiores a las aportaciones naturales del río en verano, en cuyo caso tendrán que adaptarse los caudales a los medios del mes de caudal mínimo.

En el siguiente gráfico se muestra los dos regímenes calculados tanto para años secos como para años de agua abundante.



**Figura 31. Regímenes de caudales ecológicos propuestos para el río Darro.**

Los valores correspondientes de caudales mensuales son los de la tabla 8.

**Tabla 8. Caudales mensuales del régimen de caudales ecológicos para el río Darro en años secos y en años normales.**

Caudales ecológicos en m <sup>3</sup> /s		
	Óptimo	Mínimo
<b>Octubre</b>	<b>0,51</b>	<b>0,13</b>
<b>Noviembre</b>	<b>0,51</b>	<b>0,13</b>
<b>Diciembre</b>	<b>0,45</b>	<b>0,11</b>
<b>Enero</b>	<b>0,49</b>	<b>0,12</b>
<b>Febrero</b>	<b>0,66</b>	<b>0,17</b>
<b>Marzo</b>	<b>0,72</b>	<b>0,18</b>
<b>Abril</b>	<b>0,86</b>	<b>0,21</b>
<b>Mayo</b>	<b>0,69</b>	<b>0,17</b>
<b>Junio</b>	<b>0,51</b>	<b>0,13</b>
<b>Julio</b>	<b>0,43</b>	<b>0,11</b>
<b>Agosto</b>	<b>0,40</b>	<b>0,10</b>
<b>Septiembre</b>	<b>0,41</b>	<b>0,10</b>

### Estación 2. Río Beas.

El tramo donde se realizaron los trabajos de campo se encuentra aguas arriba de la localidad de Beas de Granada, en una zona de pastos y prados con formidables ejemplares de nogal. La localización de la estación de trabajo se observa en el siguiente plano e imagen aérea.

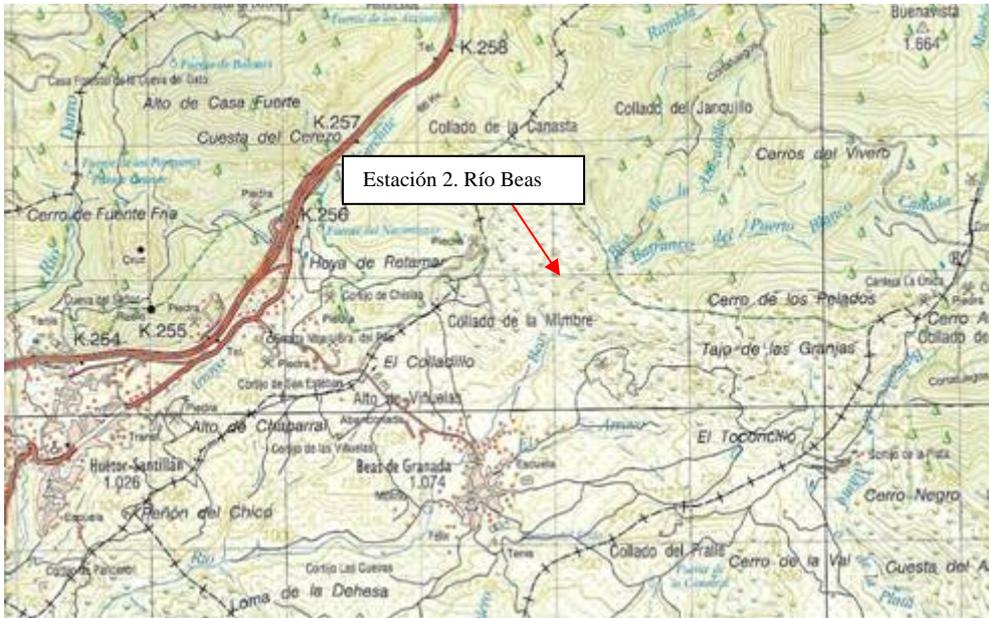
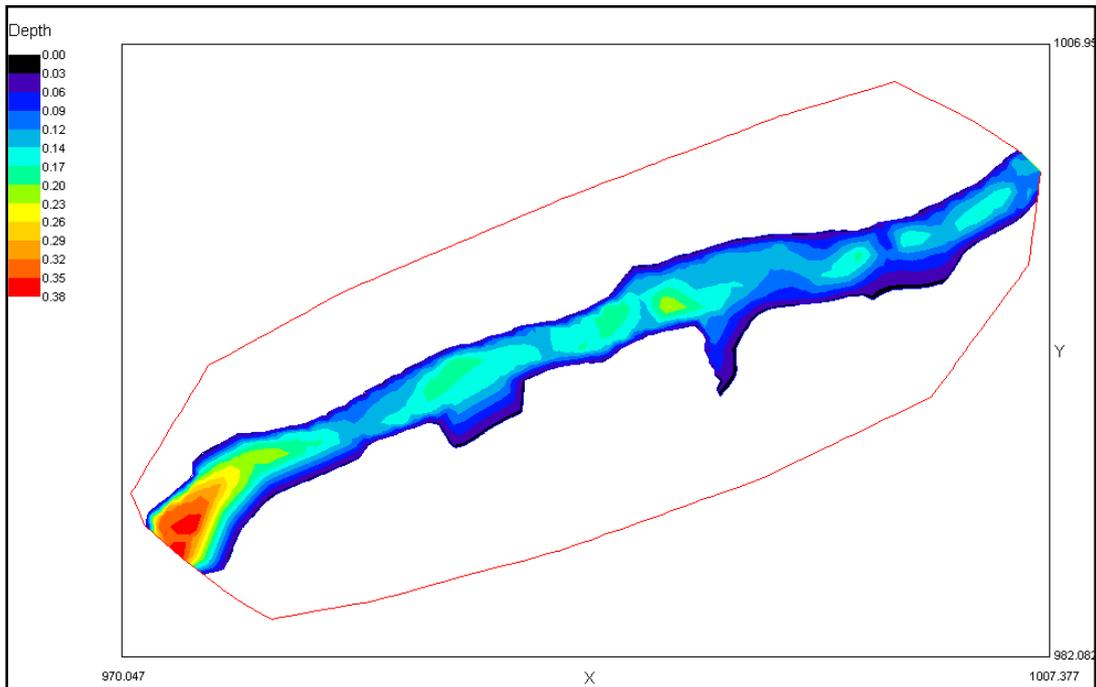


Figura 32. Localización de la estación de muestreo en el río Beas.



**Figura 33.- Fotografía aérea del tramo de estudio y parte de la cuenca en la estación del río Beas, zona entre pastos y huertas. E:1:2000.**

Mostramos en las siguientes figuras el resultado de la simulación hidráulica para un caudal de  $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ , profundidad, velocidad, distribución del número de Froude y habitabilidad combinada, también se muestra la habitabilidad para un caudal de  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ .



**Figura 34.- Distribución de profundidades, estación 2 caudal 0,2 m<sup>3</sup>/s.**

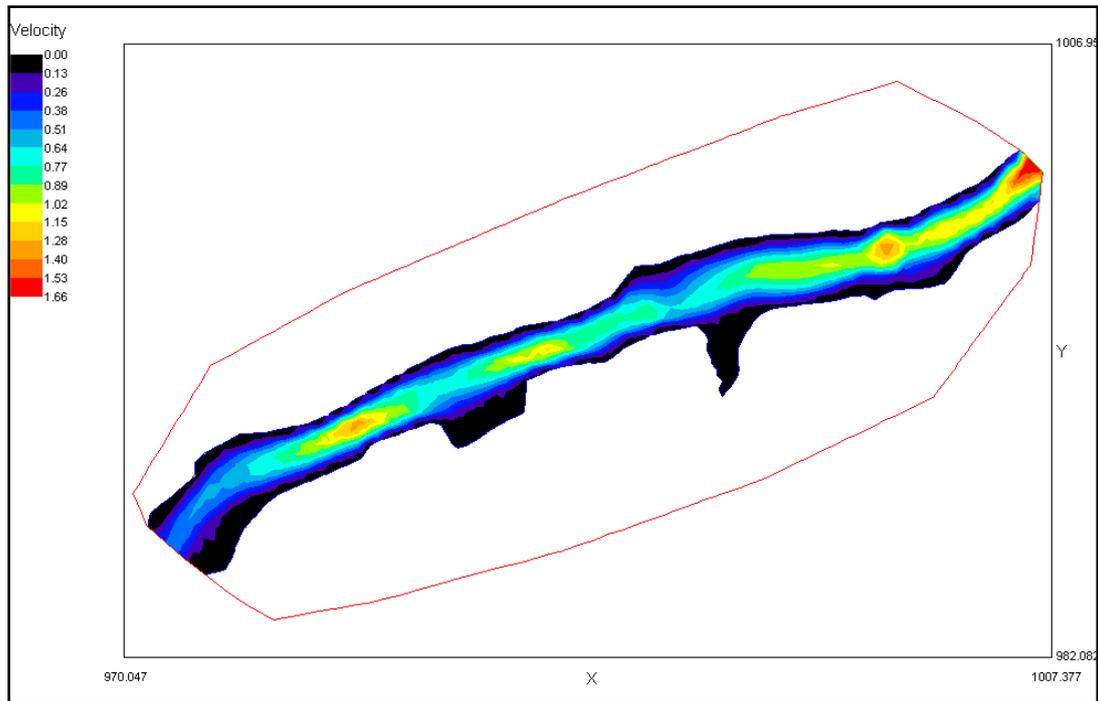


Figura 35. Distribución de velocidades en la estación 2 con un caudal de  $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ .

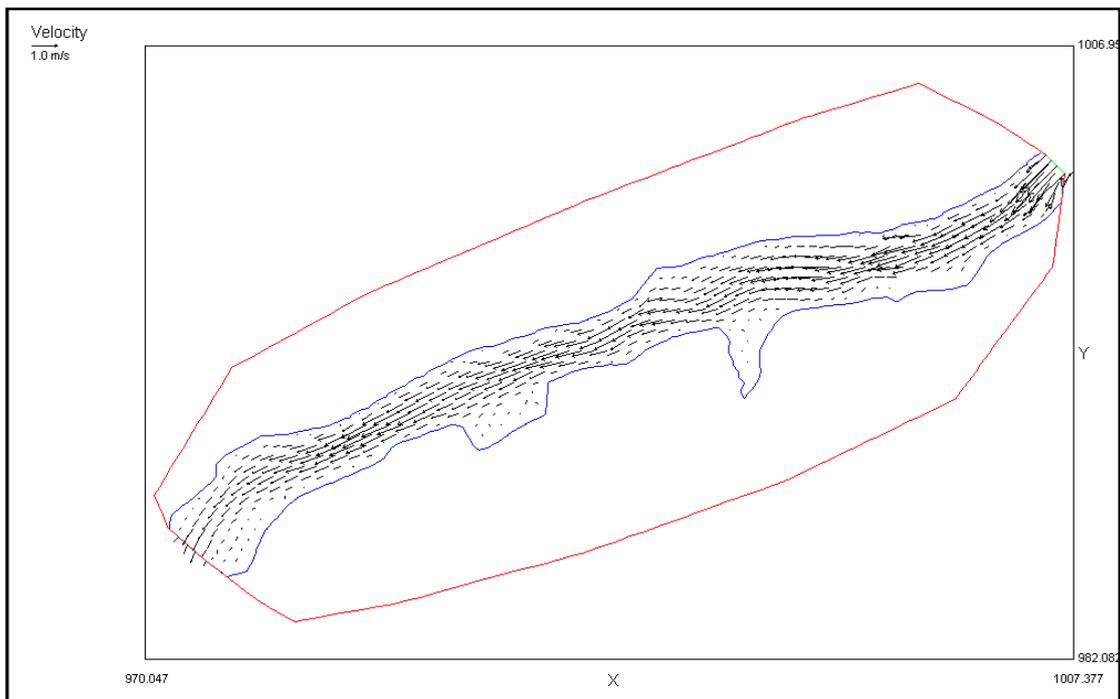
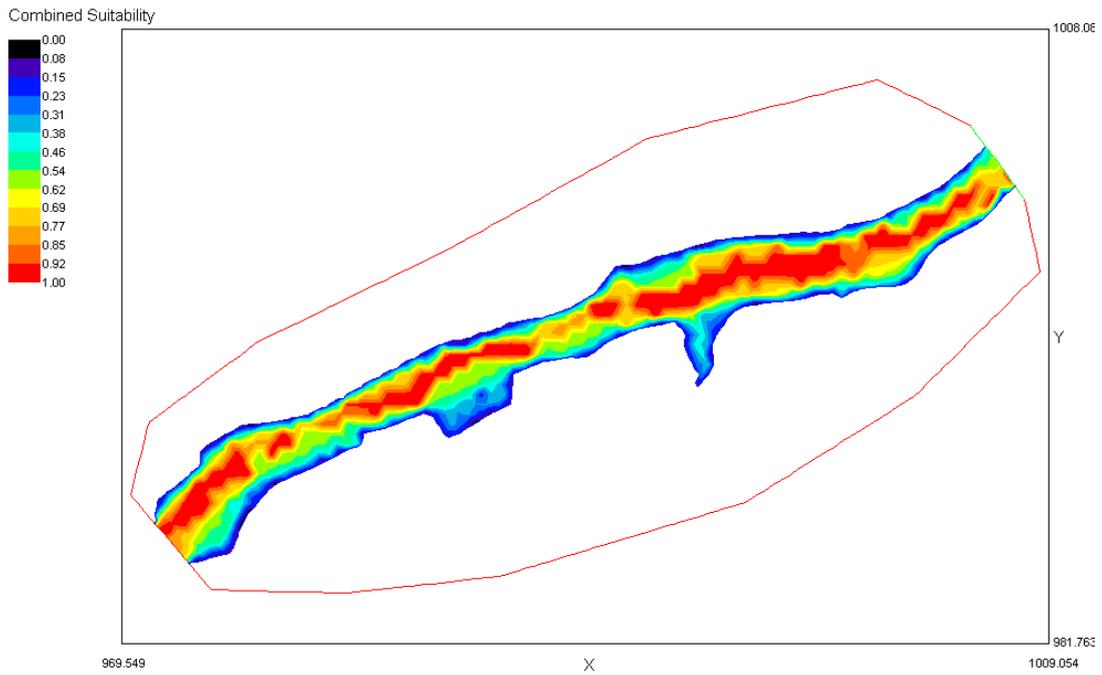
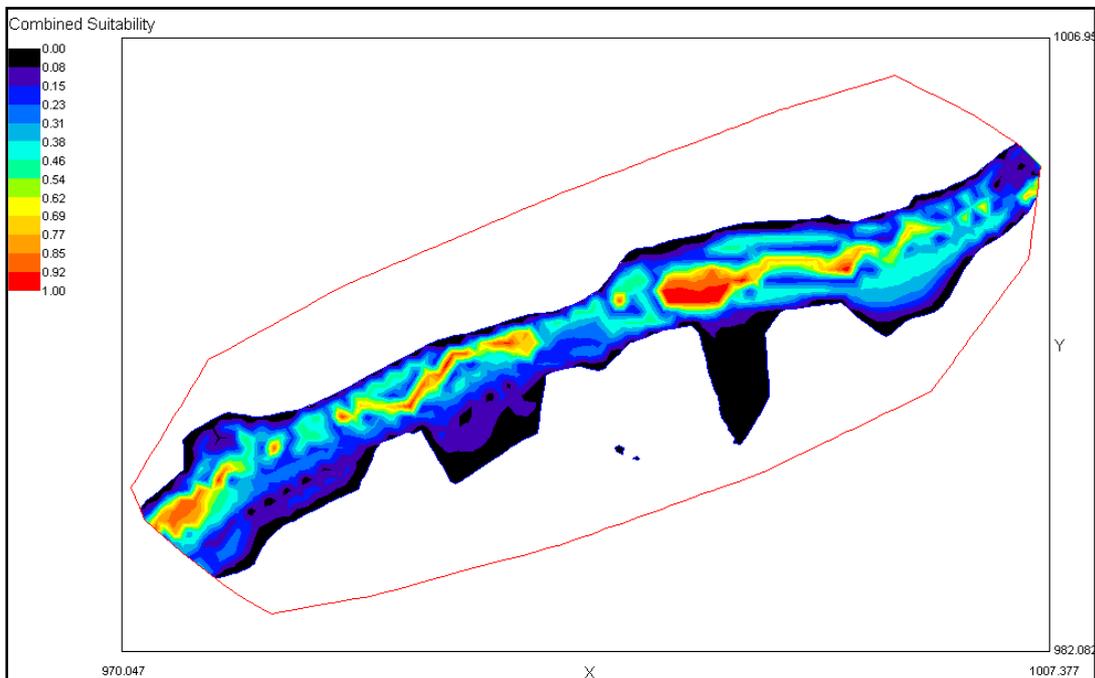


Figura 36. Líneas de flujo y vector velocidad en la estación 2 con un caudal de  $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ .



**Figura 37. Habitabilidad del tramo 2 , río Beas al simular con un caudal de 0,2 m³/s.**

En la figura siguiente se observa el cambio producido en la habitabilidad del río para macroinvertebrados al realizar la simulación con un caudal de 0,5 m³/s

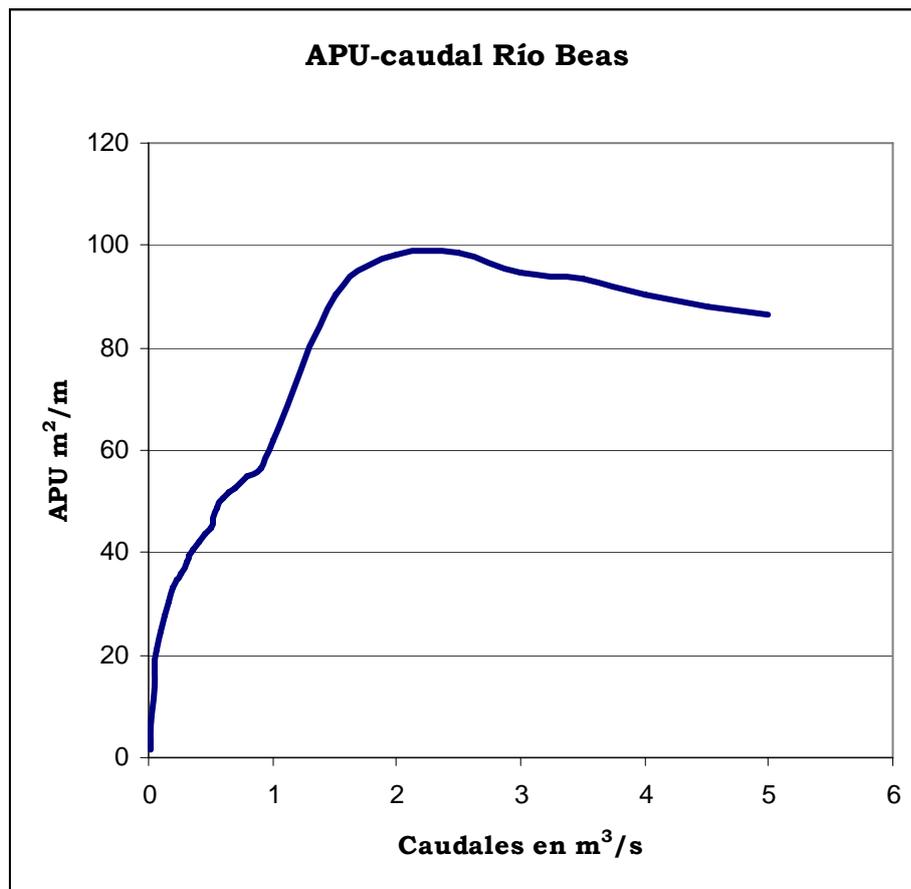


**Figura 38. Habitabilidad del tramo 2 al simular con un caudal de 0,5 m³/s**

También este río presenta una buena habitabilidad para fauna de invertebrados en caudales bajos.

La simulación se realizó en esta estación ajustando los parámetros “ $\alpha$ ” y “ $b$ ”, a 0,8 y 1,3 respectivamente.

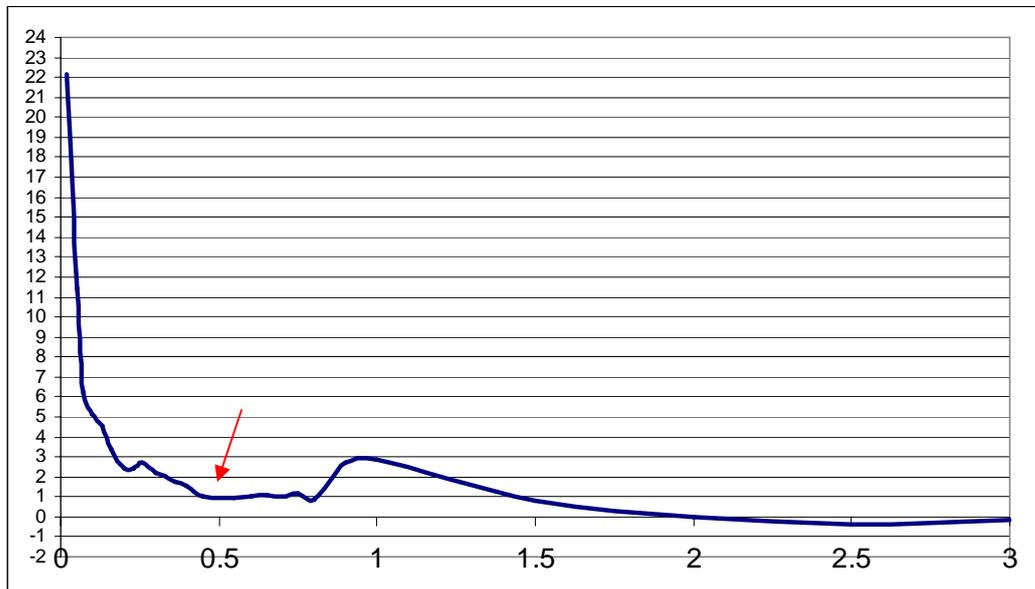
En este tramo se han obtenidos los siguientes APU para macroinvertebrados, considerando las preferencias de macroinvertebrados que producen la mayor abundancia y diversidad.



**Figura 39. Resultados APU-caudal para la estación 2 en el río Beas**

En la gráfica se observan varios cambios de pendiente, alcanzándose un valor máximo pasados los 2  $m^3/s$ , a continuación el valor del APU disminuye.

Una vez uniformizada la curva con respecto al máximo APU y al máximo caudal simulado, se calcula la pendiente de esta relación, en la representación gráfica observamos el valor de caudal que produce una pendiente igual a uno, así como el valor a partir del cual las pendientes son negativas, es decir perdemos hábitat.



**Figura 40.- Relación pendiente de la curva APU del adulto con el caudal, puntos de cambio significativo de este en el tramo 2 correspondiente al río Beas.**

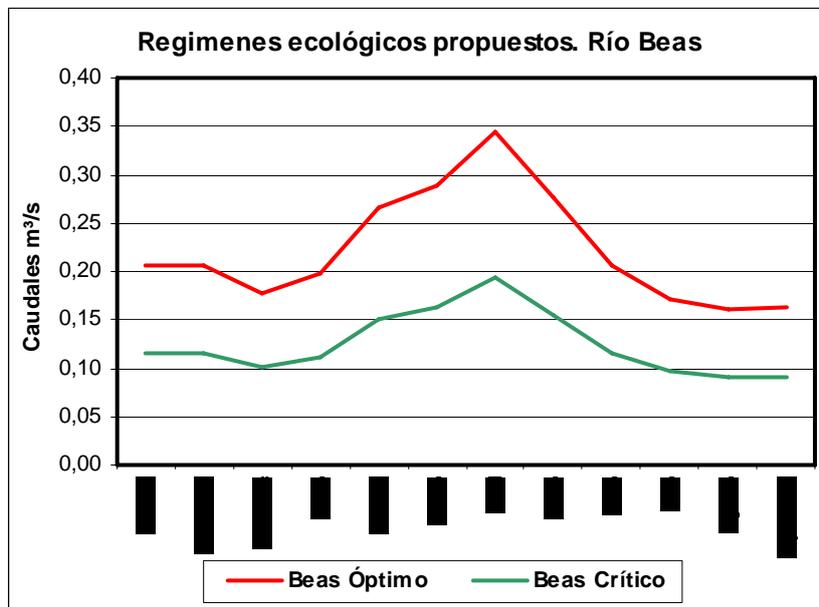
**Los resultados indican que el caudal ecológico óptimo en el tramo debe ser de 0,16 m<sup>3</sup>/s.**

En este río también se utilizó como estrategia la relación entre la cantidad de puntos con número de Froude pequeños, y por lo tanto más aptos para albergar fauna de macroinvertebrados y el caudal, la relación entre los caudales simulados y el intervalo de valores de números de Froude óptimos es la siguiente. También se ha utilizado como criterio el que se consiga una lámina de agua continua de al menos 10 cm. En el tramo.

**Según este último criterio obtenemos un caudal mínimo de 0,09 m<sup>3</sup>/s, a partir del cual la lámina de agua se hace menor de 10 cm.** En gran parte del cauce y se pierde la continuidad.

Se asume a falta de comprobaciones hidrológicas y de la evolución de la población con los caudales que, este sería el caudal mínimo ecológico y el caudal anteriormente obtenido, con las curvas de preferencia de 0, 16 m<sup>3</sup>/s se va a utilizar como caudal óptimo.

Como en el caso anterior y puesto que no se disponen de datos de aforo los resultados tendrán que contrastarse con un modelo que calcule la cantidad de agua que discurre por el tramo. En la imagen siguiente se presenta el régimen mensual de caudales ecológicos.



**Figura 41. Regímenes de caudales ecológicos propuestos para el río Beas.**

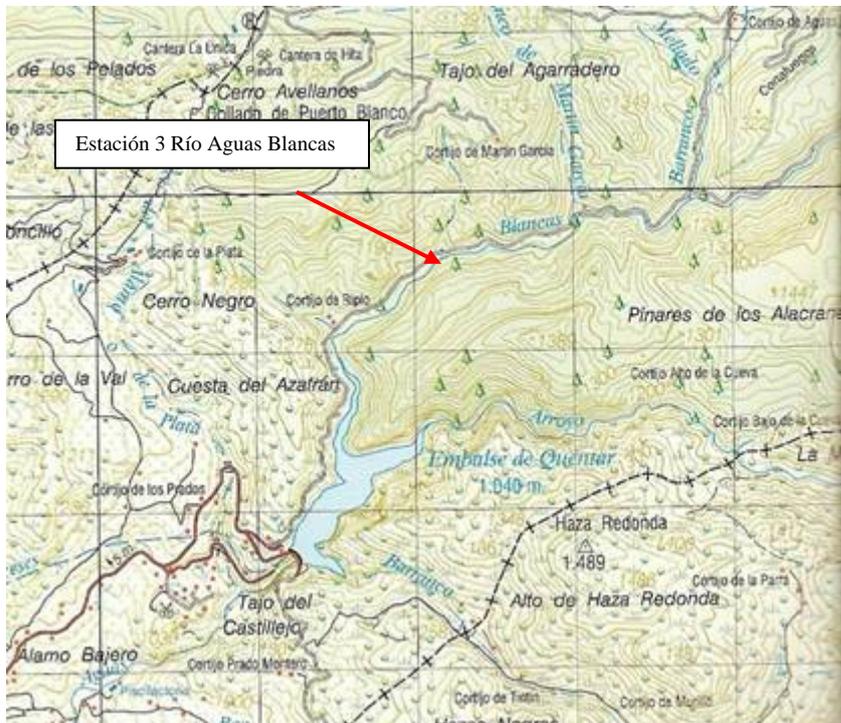
Los valores correspondientes de caudales mensuales son los de la tabla 9.

**Tabla 9. Caudales mensuales del régimen de caudales ecológicos para el río Darro en años secos y en años normales.**

<b>Caudales ecológicos en m<sup>3</sup>/s. Río Beas</b>		
	<b>Óptimo</b>	<b>Mínimo</b>
<b>Octubre</b>	<b>0,21</b>	<b>0,12</b>
<b>Noviembre</b>	<b>0,21</b>	<b>0,12</b>
<b>Diciembre</b>	<b>0,18</b>	<b>0,10</b>
<b>Enero</b>	<b>0,20</b>	<b>0,11</b>
<b>Febrero</b>	<b>0,27</b>	<b>0,15</b>
<b>Marzo</b>	<b>0,29</b>	<b>0,16</b>
<b>Abril</b>	<b>0,34</b>	<b>0,19</b>
<b>Mayo</b>	<b>0,28</b>	<b>0,15</b>
<b>Junio</b>	<b>0,21</b>	<b>0,12</b>
<b>Julio</b>	<b>0,17</b>	<b>0,10</b>
<b>Agosto</b>	<b>0,16</b>	<b>0,09</b>
<b>Septiembre</b>	<b>0,16</b>	<b>0,09</b>

### **Estación 3. Río Aguas Blancas.**

La estación de trabajo de este río se situó en la cola del embalse de Quentar en una zona de valle más amplio con un buen bosque de ribera, la localización se observa en el siguiente plano e imagen aérea.



**Figura 42. Localización de la estación de muestreo en el río Aguas Blancas.**



**Figura 43.- Fotografía aérea del tramo de estudio y parte de la cuenca en la estación del río Aguas Blancas, aguas arriba de la urbanización. E:1:2000.**

Una vez realizada la simulación se obtienen diversos parámetros hidráulicos que conforman el hábitat de las especies, mostramos en las siguientes figuras el resultado de la simulación para un caudal de  $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ , se muestran vistas de los resultados en cuanto a profundidades, velocidades, y habitabilidad combinada, para comparar como varía esta última también se muestra con un caudal de  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ . Para obtener la habitabilidad se utilizaron las curvas de preferencia de la trucha, en la imágenes se muestra el hábitat disponible para adultos de trucha.

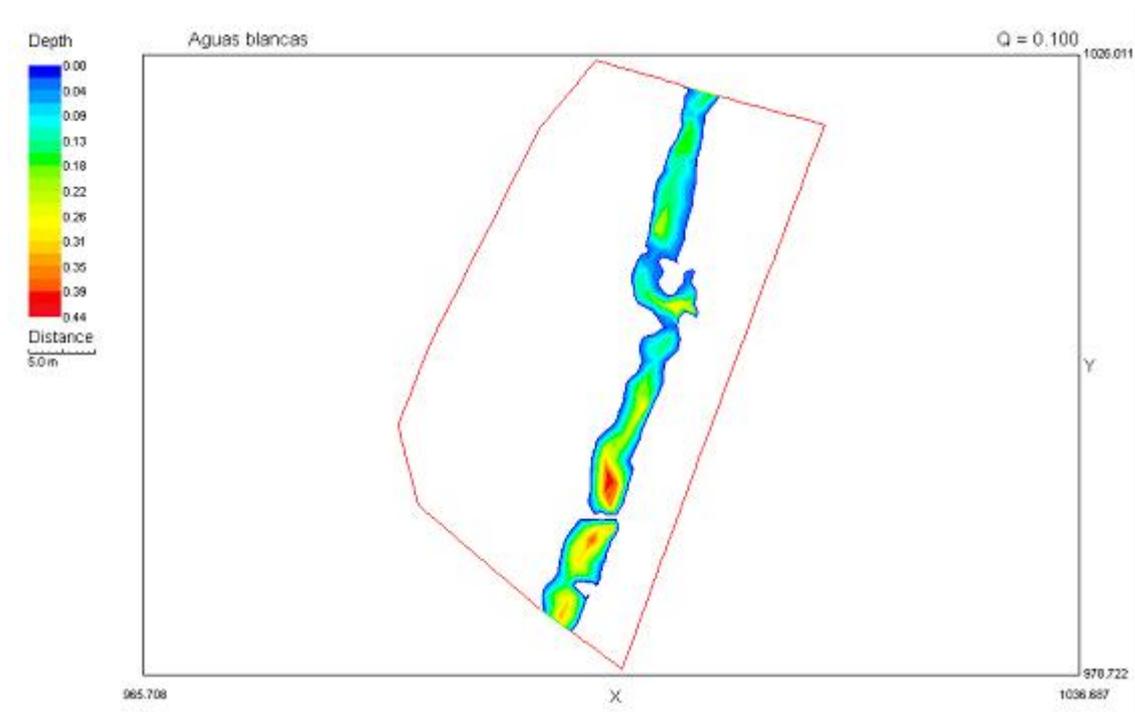


Figura 44.- Distribución de profundidades, estación 3 caudal 0,1 m<sup>3</sup>/s

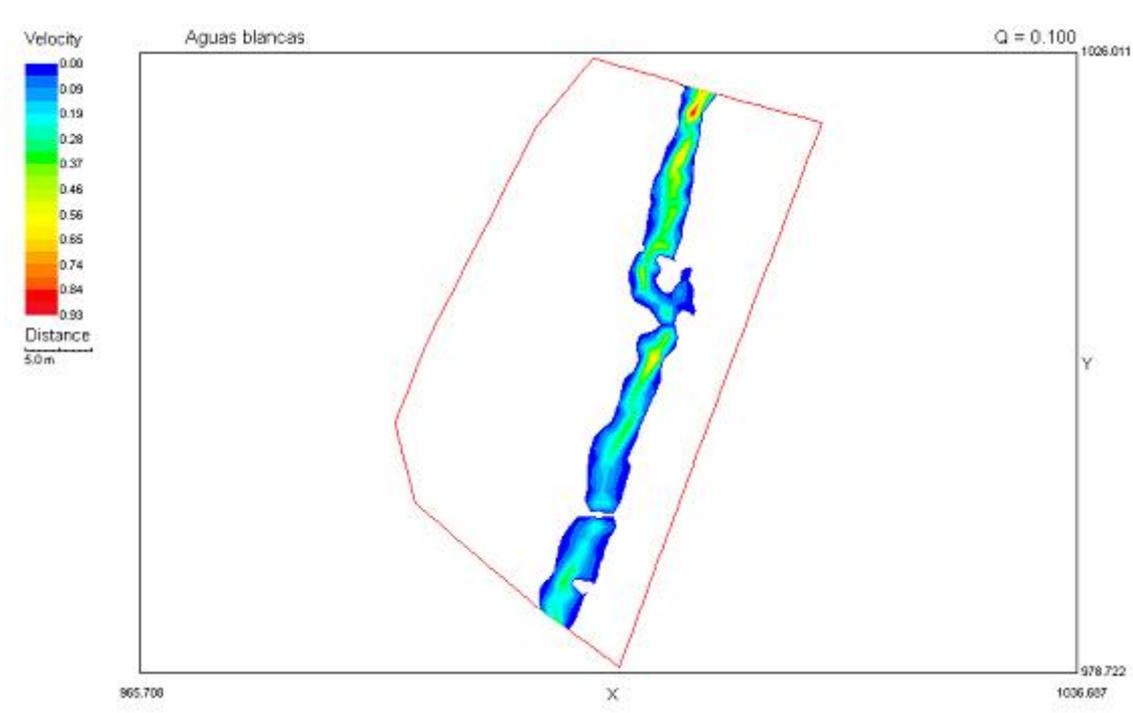
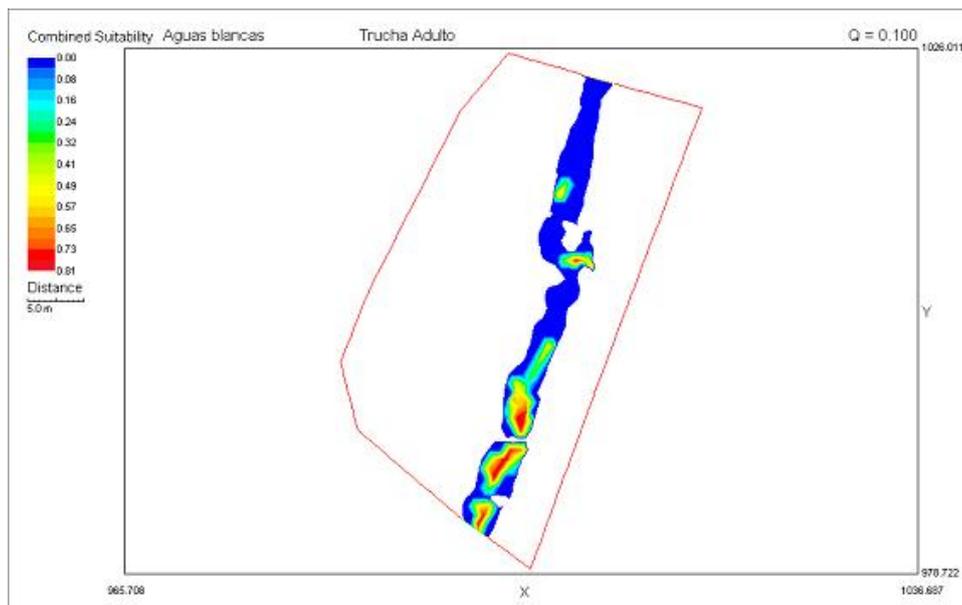
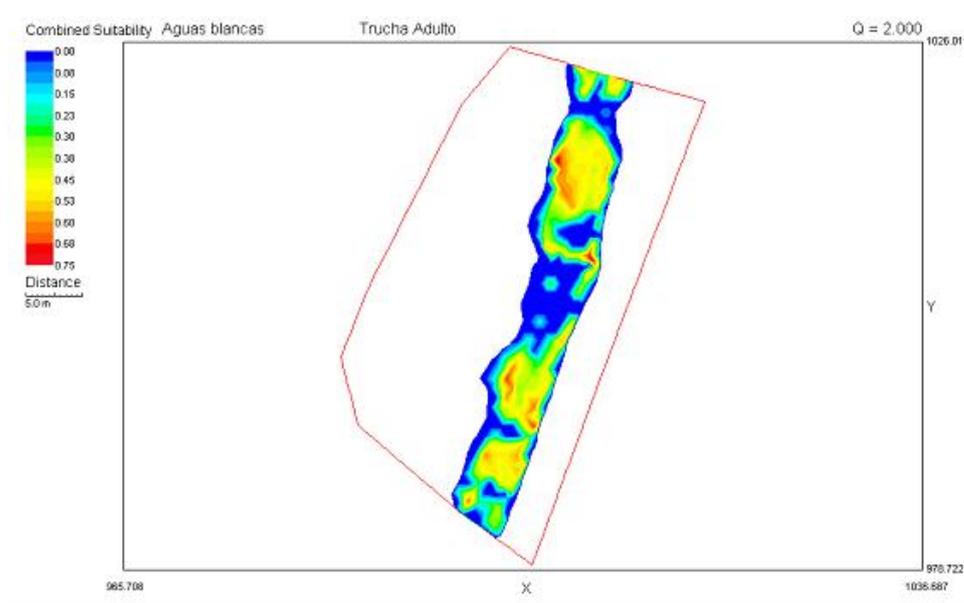


Figura 45.- Distribución de la velocidad, estación 3 caudal  $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$



**Figura 46. Habitabilidad del tramo río Aguas Blancas al simular con un caudal de 0,1 m<sup>3</sup>/s**

En la figura siguiente se observa el cambio producido en la habitabilidad del río para trucha adulto al aumentar a un caudal de 2 m<sup>3</sup>/s

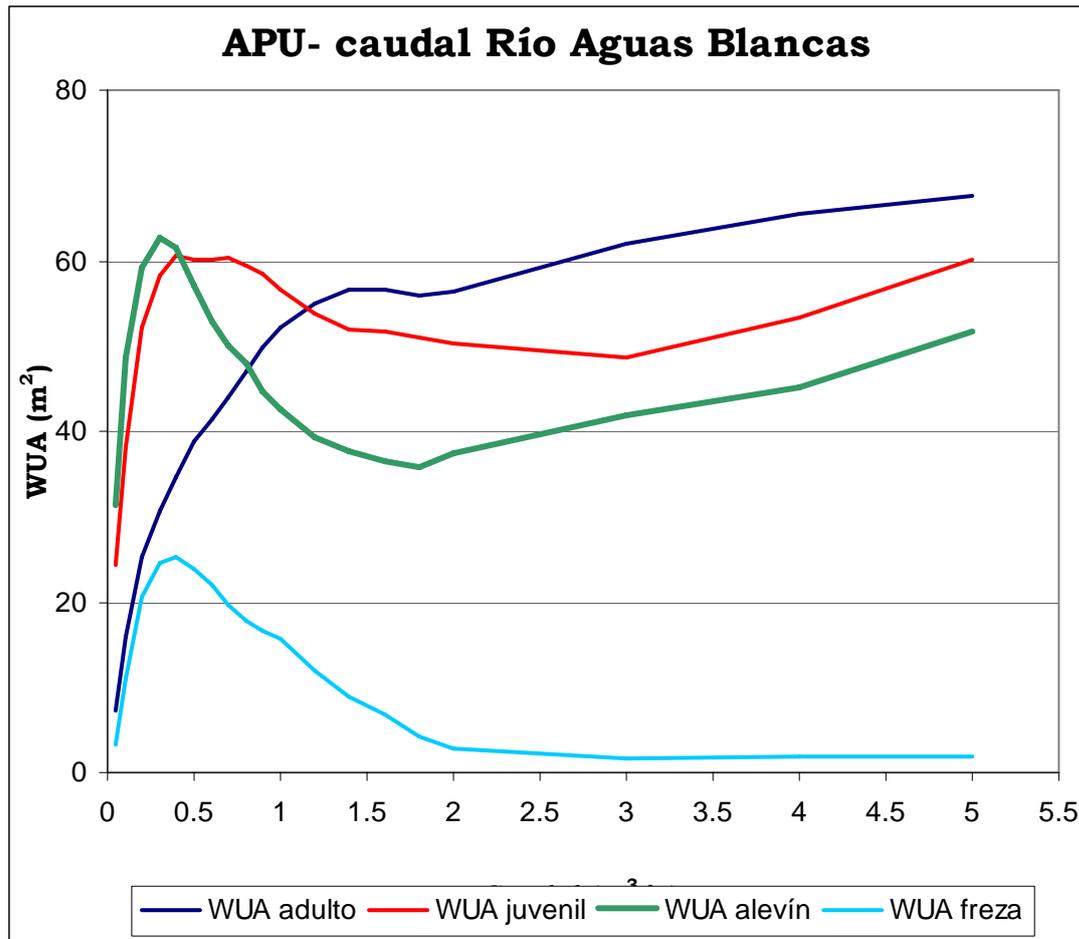


**Figura 47. Habitabilidad del tramo al simular con un caudal de 2 m<sup>3</sup>/s**

Se aprecia un cambio considerable en las zonas más habitables del río al ocupar más superficie con un caudal mayor, y no aparecer con un caudal de 2 m<sup>3</sup>/s, condiciones limitantes como pueden ser velocidades altas.

La simulación se realizó en esta estación ajustando los parámetros “ $\alpha$ ” y “ $b$ ”, a 1,85 y 1,67 respectivamente.

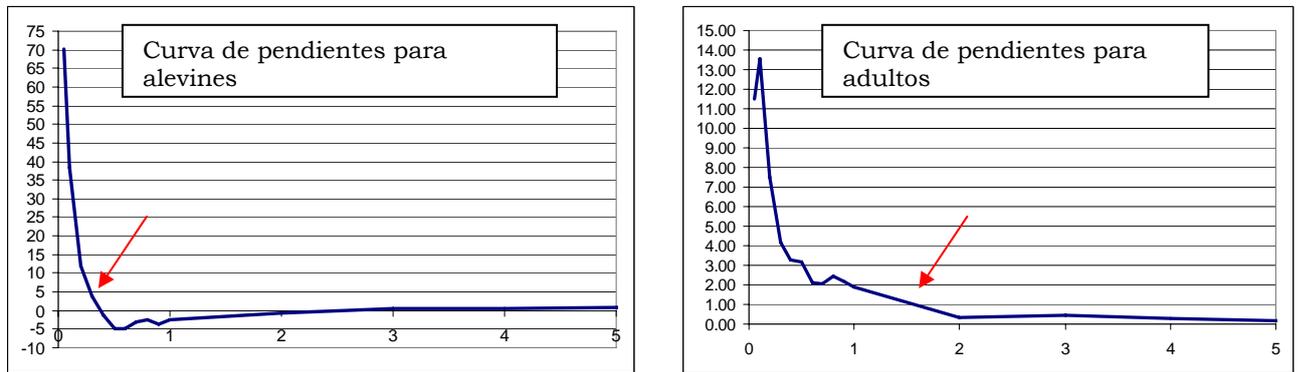
En este tramo se han obtenidos los siguientes APU para los diferentes estados de desarrollo de la trucha común, utilizando las curvas de preferencia de esta especie adaptada a los ríos españoles.



**Figura 48. Resultados APU-caudal para la estación 3 en el río Aguas Blancas para diferentes estados de desarrollo de la trucha común.**

Se observa que los más exigentes en caudal son los adultos, las demás fases de desarrollo alcanzan los valores óptimos con caudales menores de 0,5 m³/s, en el caso de los adultos se aprecia un cambio en la pendiente con valores comprendidos entre 0,5 y 1,5 m³/s, llegándose a un primer máximo sobre los 1,8 m³/s, para descender a partir de ese valor.

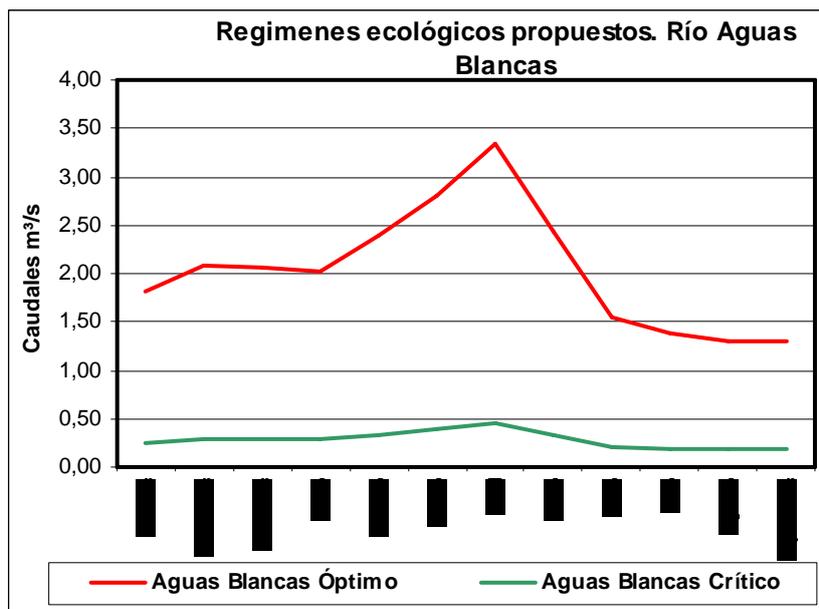
Una vez uniformizada la curva con respecto al máximo APU y al máximo caudal simulado, se calcula la pendiente de esta relación, se ha optado por obtener el caudal que produce que la pendiente sea igual a uno para los alevines, que son menos exigentes en caudal y tomar este valor como caudal mínimo, y posteriormente por los adultos y tomar esta caudal como el óptimo ecológico, en las representaciones gráficas siguientes encontramos las dos curvas de las pendientes correspondientes al estado alevín y adulto.



**Figura 49.- Relación pendiente de la curva APU de alevines a la izquierda y de adulto a la derecha con el caudal, puntos de cambio significativo de este en el tramo 3 correspondiente al río Aguas Blancas.**

Con estos resultados se considera que se podría dejar un caudal ecológico mínimo en el tramo de  $0,18 \text{ m}^3/\text{s}$  lo que se deduce de las exigencias de los alevines, y que suponen un hábitat suficiente para el resto de estados de desarrollo, y finalmente un caudal ecológico óptimo para años de aguas abundantes de  $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$ , que es el que produciría la mayor cantidad de hábitat en el tramo, obtenido a partir de las exigencias de los adultos.

En el siguiente gráfico se muestra los dos regímenes calculados tanto para años secos como para años de agua abundante. Tomando como base para establecer la tasa de cambio mensual, los datos de la estación de aforo número 21, en el río Aguas Blancas.



**Figura 50. Regímenes de caudales ecológicos propuestos para el río Aguas Blancas.**

Los valores correspondientes para los regímenes ecológicos de caudales mensuales son los de la tabla 10.

**Tabla 10. Caudales mensuales del régimen de caudales ecológicos para el río Aguas Blancas en años secos y en años normales.**

<b>Caudales ecológicos en m<sup>3</sup>/s</b>		
<b>Río Aguas Blancas</b>	<b>Óptimo</b>	<b>Mínimo</b>
<b>Octubre</b>	<b>1,82</b>	<b>0,25</b>
<b>Noviembre</b>	<b>2,07</b>	<b>0,29</b>
<b>Diciembre</b>	<b>2,06</b>	<b>0,28</b>
<b>Enero</b>	<b>2,02</b>	<b>0,28</b>
<b>Febrero</b>	<b>2,40</b>	<b>0,33</b>
<b>Marzo</b>	<b>2,81</b>	<b>0,39</b>
<b>Abril</b>	<b>3,33</b>	<b>0,46</b>
<b>Mayo</b>	<b>2,43</b>	<b>0,34</b>
<b>Junio</b>	<b>1,55</b>	<b>0,21</b>
<b>Julio</b>	<b>1,39</b>	<b>0,19</b>
<b>Agosto</b>	<b>1,30</b>	<b>0,18</b>
<b>Septiembre</b>	<b>1,30</b>	<b>0,18</b>

#### Estación 4. Río Monachil.

En este río se eligió un punto situado junto a la antigua estación de tranvías, en lo que ahora es una minicentral eléctrica, aguas debajo de la entrada del canal de derivación de la minicentral, la localización del tramo de muestreo se observa en el siguiente plano e imagen aérea.

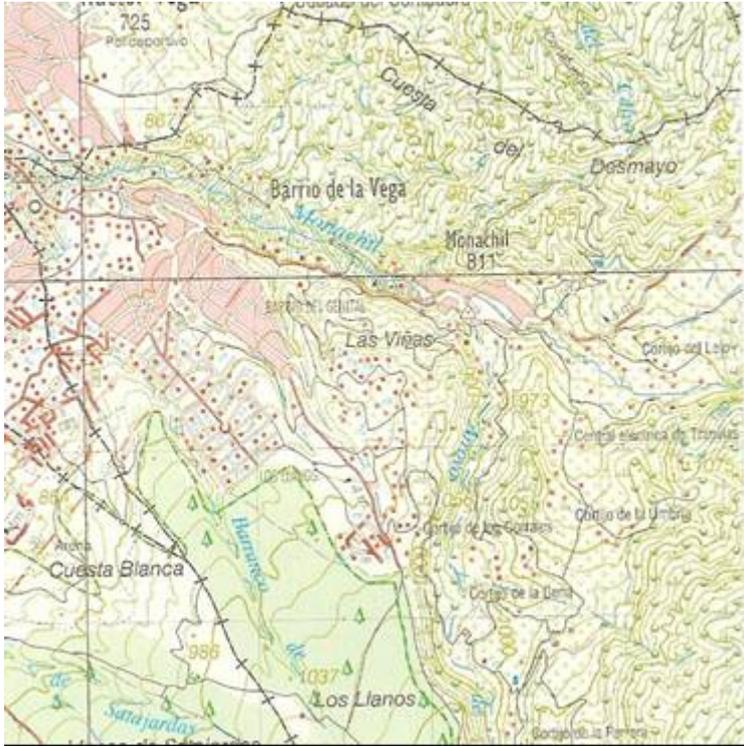


Figura 51. Localización de la estación de muestreo en el río Monachil.



**Figura 52.- Fotografía aérea del tramo de estudio, en la que se aprecia el edificio de la central, junto al cual se localiza el tramo de trabajo del río Monachil. E:1:2000.**

Una vez realizada la simulación se obtienen diversos parámetros hidráulicos que sirven para obtener una estimación de la habitabilidad del tramo para la especie objetivo, mostramos en las siguientes figuras el resultado de la simulación para un caudal de  $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ , se muestran vistas de los resultados en cuanto a profundidades, velocidades, y habitabilidad combinada, para comparar como varía esta última también se muestra con un caudal de  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ . Para obtener la habitabilidad se utilizaron las curvas de preferencia de la trucha, en la imágenes se muestra el hábitat disponible para adultos de trucha.

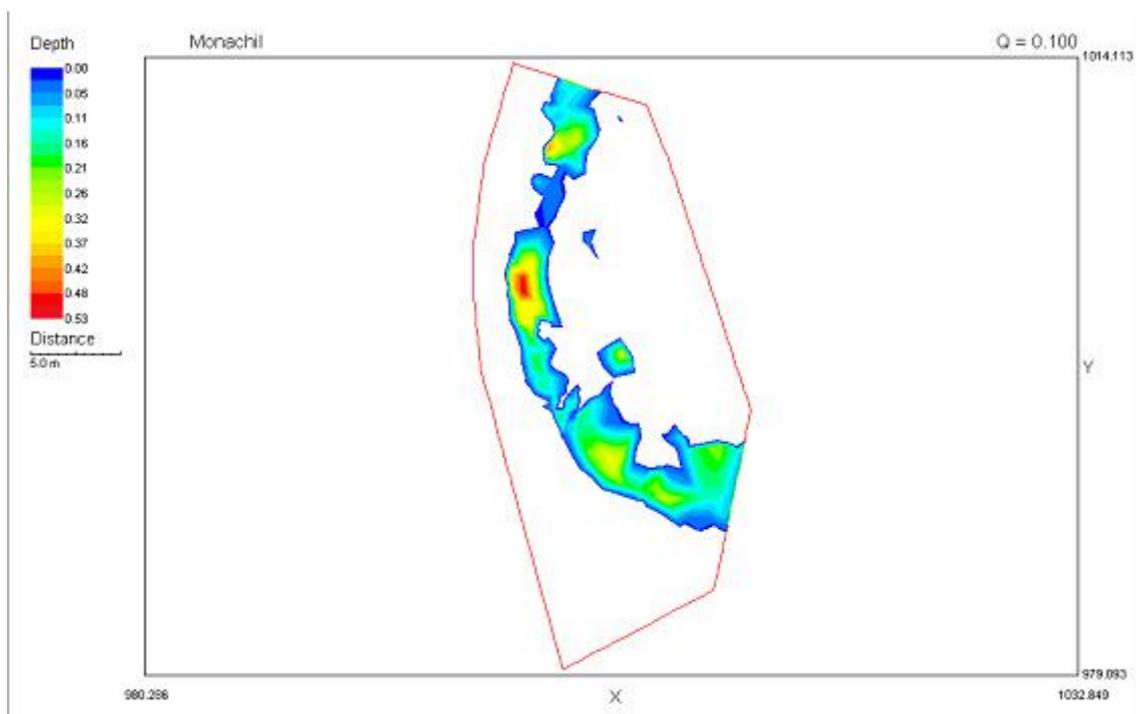


Figura 53. Distribución de profundidades en la estación 4 con un caudal de 0,1 m<sup>3</sup>/s.

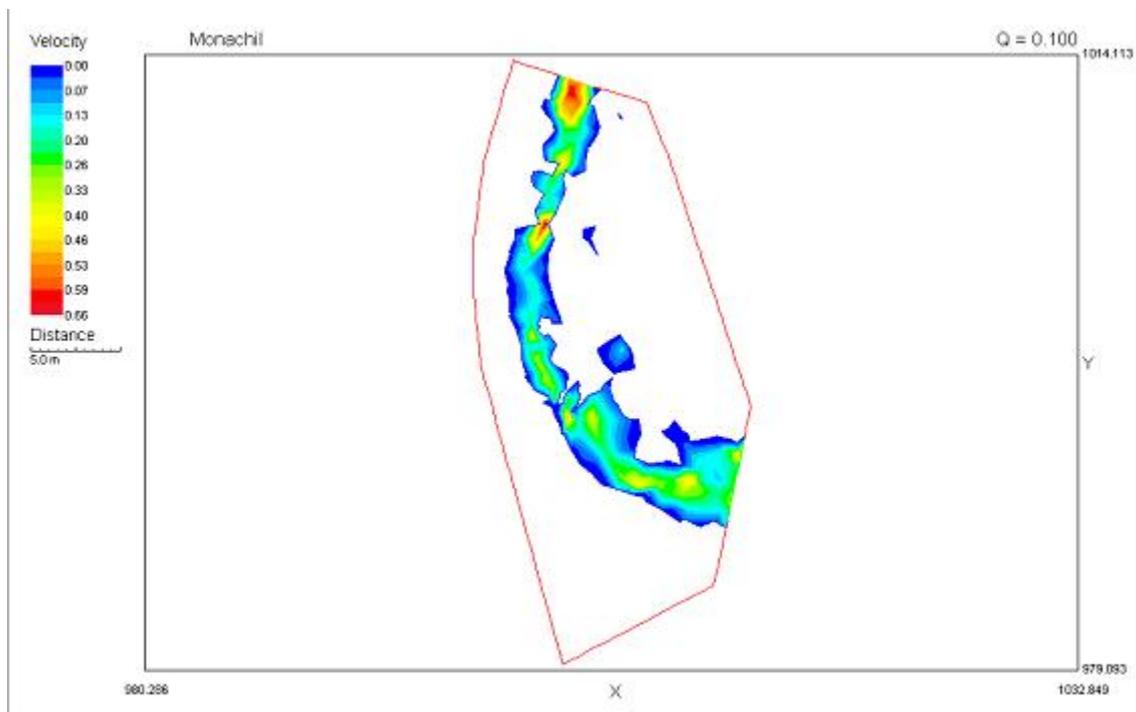
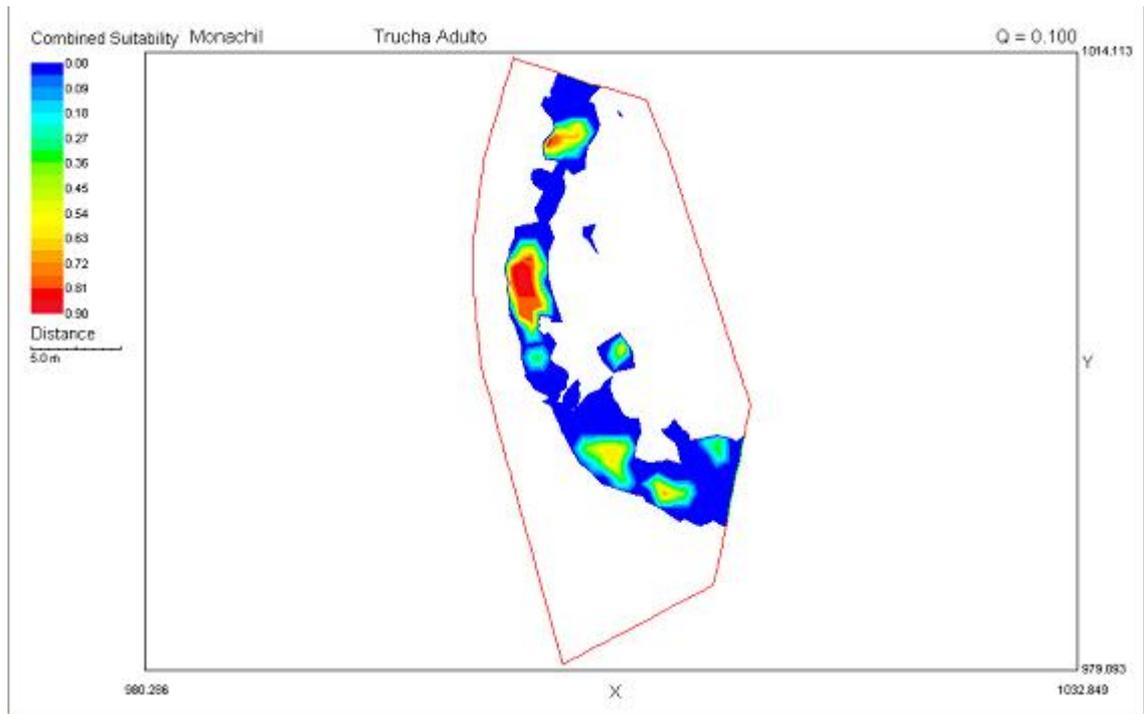
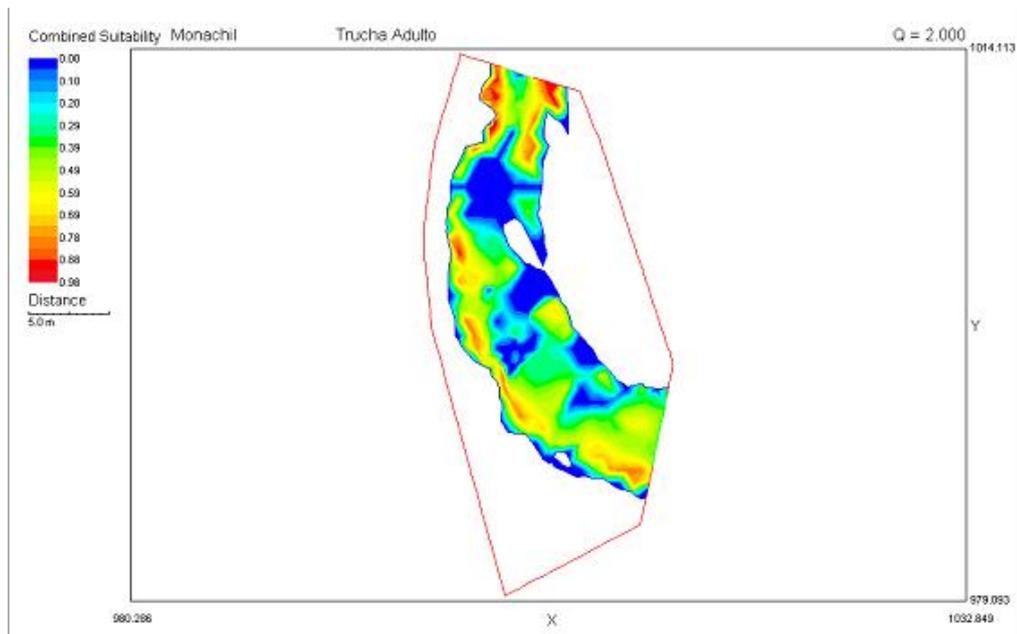


Figura 54. Distribución de velocidades en la estación 4 con un caudal de 0,1 m<sup>3</sup>/s.



**Figura 55. Habitabilidad del tramo río Monachil para trucha adulto al simular con un caudal de  $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$**

En la figura siguiente se observa el cambio producido en la habitabilidad del río para trucha adulto al aumentar a un caudal de  $2 \text{ m}^3/\text{s}$

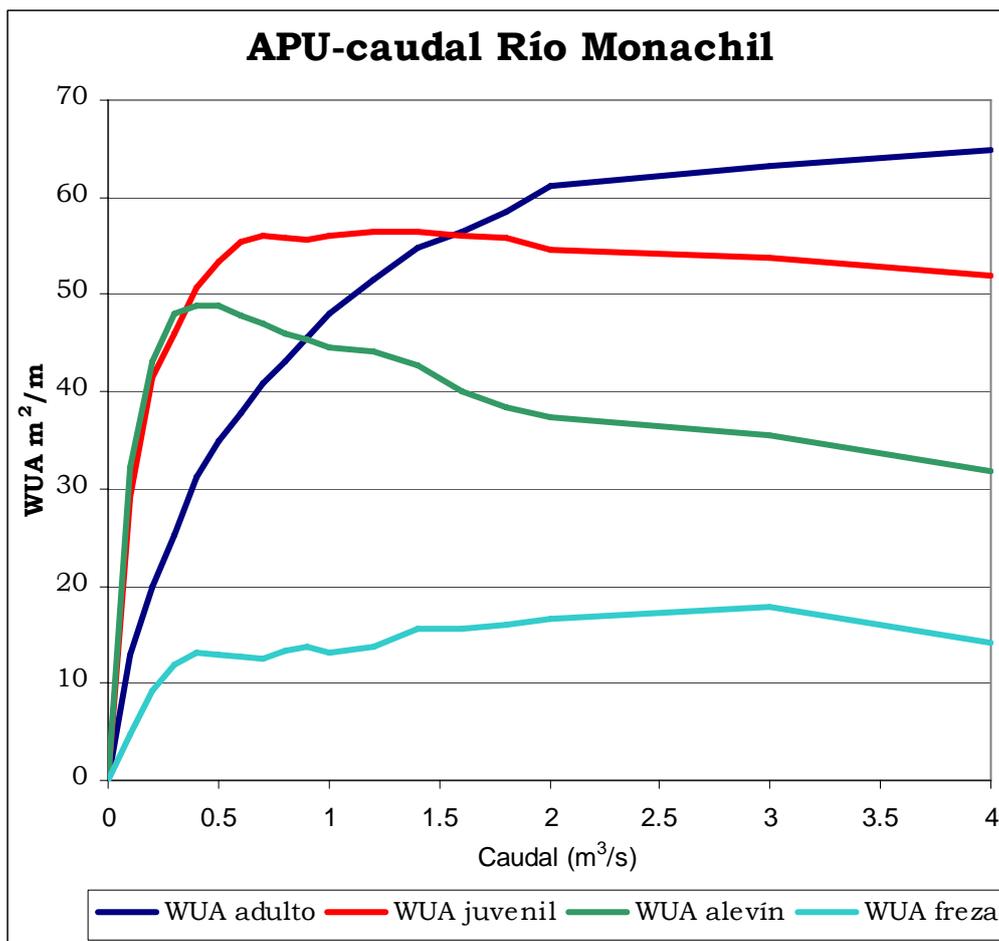


**Figura 56. Habitabilidad del tramo al simular con un caudal de  $2 \text{ m}^3/\text{s}$**

Entre las dos imágenes se aprecia un cambio en cuanto a la superficie ocupada por el río, lo que supone un cambio en las zonas posiblemente habitadas por los peces.

La simulación se realizó en esta estación ajustando los parámetros “ $\alpha$ ” y “ $b$ ”, a 1,76 y 1,67 respectivamente.

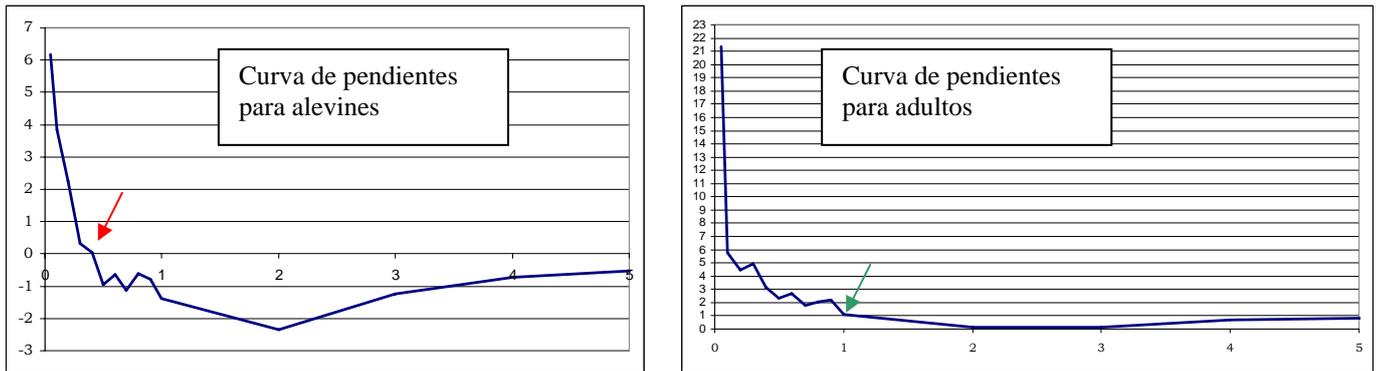
En este tramo se han obtenidos los siguientes APU para los diferentes estados de desarrollo de la trucha común, utilizando las curvas de preferencia de esta especie adaptada a los ríos españoles.



**Figura 57. Resultados APU-caudal para la estación 4 en el río Monachil para diferentes estados de desarrollo de la trucha común.**

Los adultos alcanzan sus mayores valores de Área potencial Útil (APU) con caudales alrededor de los 2  $m^3/s$ , mientras que las demás fases de desarrollo alcanzan los valores óptimos con caudales alrededor de 0,5  $m^3/s$ , en el caso de los adultos se aprecian varios cambios de pendiente con valores menores a los de su óptimo.

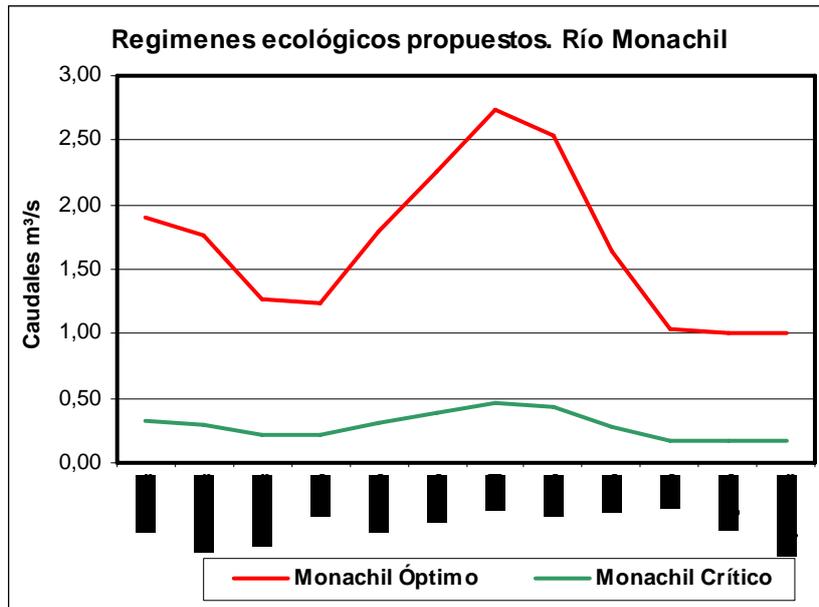
Una vez uniformizada la curva con respecto al máximo APU y al máximo caudal simulado, se calcula la pendiente de esta relación, se ha optado por obtener el caudal que produce que la pendiente sea igual a uno para los alevines, que son menos exigentes en caudal y tomar este valor como caudal mínimo, y posteriormente para los adultos y tomar esta caudal como el óptimo ecológico, en las representaciones gráficas siguientes encontramos las dos curvas de las pendientes correspondientes al estado alevín y adulto.



**Figura 58.- Relación pendiente de la curva APU de alevines a la izquierda y de adulto a la derecha con el caudal, puntos de cambio significativo de este en el tramo 4 correspondiente al río Monachil.**

Con estos resultados se considera que se **podría dejar un caudal ecológico mínimo en el tramo de 0,17 m<sup>3</sup>/s** lo que se deduce de las exigencias de los alevines, y que suponen un hábitat suficiente para el resto de estados de desarrollo, y finalmente **un caudal ecológico óptimo para años de aguas abundantes de 1 m<sup>3</sup>/s**, que es el que produciría la mayor cantidad de hábitat en el tramo, obtenido a partir de las exigencias de los adultos.

En el siguiente gráfico se muestra los dos regímenes calculados tanto para años secos como para años de agua abundante. Tomando como base para establecer la tasa de cambio mensual, los datos de la estación de aforo número 39, en el río Monachil.



**Figura 59. Regímenes de caudales ecológicos propuestos para el río Monachil**

Los valores correspondientes para los regímenes ecológicos de caudales mensuales son los de la tabla 11.

**Tabla 11. Caudales mensuales del régimen de caudales ecológicos para el río Monachil en años secos y en años normales.**

<b>Caudales ecológicos en m<sup>3</sup>/s</b>		
<b>Río Monachil</b>	<b>Óptimo</b>	<b>Mínimo</b>
<b>Octubre</b>	<b>1,91</b>	<b>0,32</b>
<b>Noviembre</b>	<b>1,76</b>	<b>0,30</b>
<b>Diciembre</b>	<b>1,27</b>	<b>0,22</b>
<b>Enero</b>	<b>1,24</b>	<b>0,21</b>
<b>Febrero</b>	<b>1,79</b>	<b>0,30</b>
<b>Marzo</b>	<b>2,26</b>	<b>0,38</b>
<b>Abril</b>	<b>2,74</b>	<b>0,47</b>
<b>Mayo</b>	<b>2,53</b>	<b>0,43</b>
<b>Junio</b>	<b>1,64</b>	<b>0,28</b>
<b>Julio</b>	<b>1,04</b>	<b>0,18</b>
<b>Agosto</b>	<b>1,00</b>	<b>0,17</b>
<b>Septiembre</b>	<b>1,00</b>	<b>0,17</b>

### Estación 5. Río Dilar.

La zona aguas arriba del pueblo de Dilar presenta un valle amplio con terrenos dedicados al cultivo y en parte a la repoblación forestal con chopos de ribera. En esta zona se localizó el tramo en el que se ha realizado el levantamiento topográfico, junto al camino que sube al aula de naturaleza del Parque Nacional de Sierra Nevada situado en este término Municipal. La localización precisa del tramo de muestreo se observa en el siguiente plano e imagen aérea.

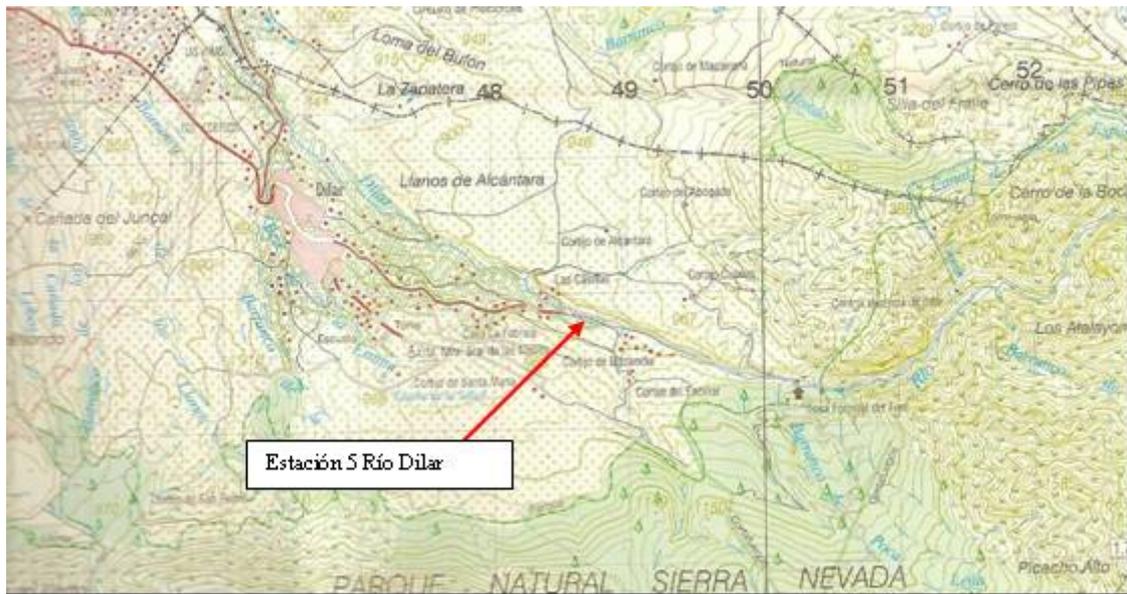
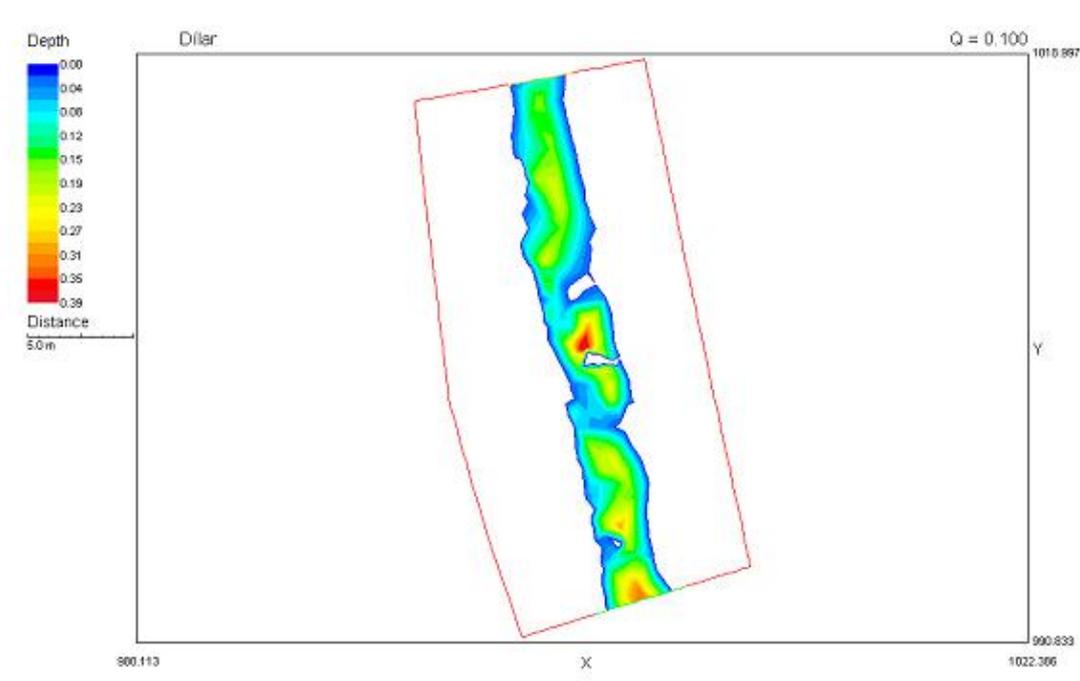


Figura 60. Localización de la estación de muestreo en el río Dilar.

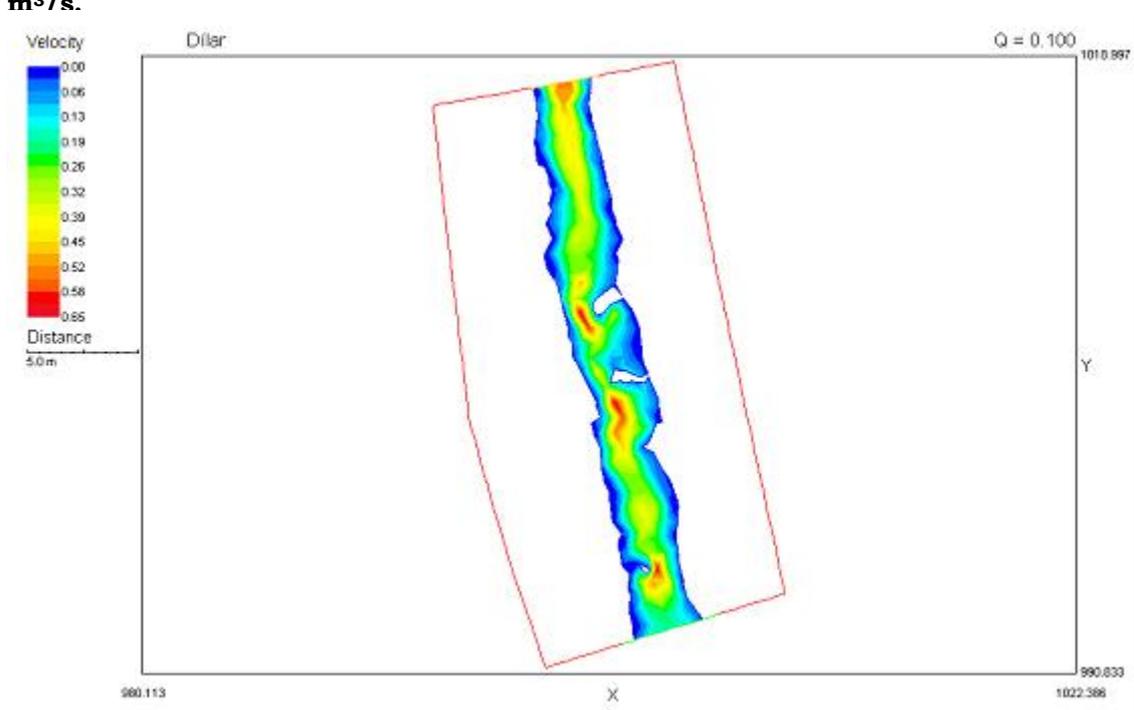


**Figura 61.- Fotografía aérea del tramo de estudio, en la parte inferior se aprecia la repoblación de chopos junto al tramo, y en la superior el camino, río Dilar. E:1:2000.**

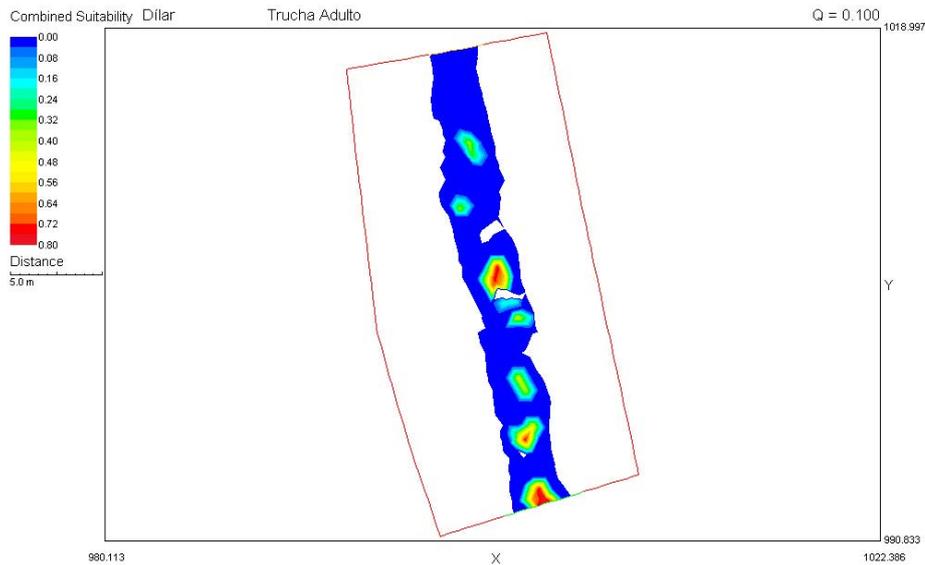
Mostramos en las siguientes figuras el resultado de la simulación para un caudal de  $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ , se muestran vistas de los resultados en cuanto a profundidades, velocidades, y habitabilidad combinada, para comparar como varía esta última también se muestra con un caudal de  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ . Para obtener la habitabilidad se utilizaron las curvas de preferencia de la trucha, en la imágenes se muestra el hábitat disponible para adultos de trucha.



**Figura 62. Distribución de profundidades en la estación 5 con un caudal de 0,1 m<sup>3</sup>/s.**

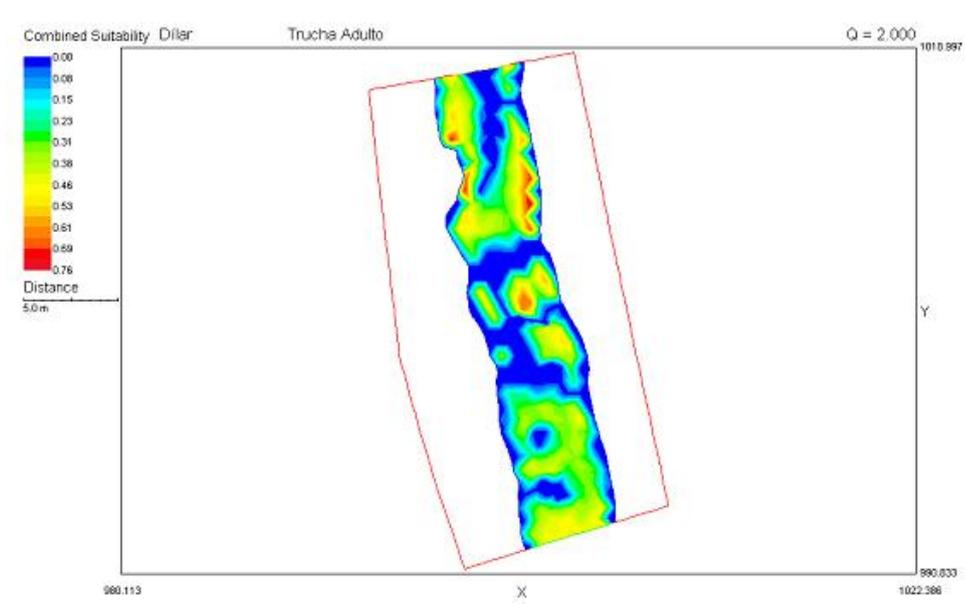


**Figura 63. Distribución de velocidades en la estación 5 con un caudal de 0,1 m<sup>3</sup>/s.**



**Figura 64. Habitabilidad del tramo río Dilar para trucha adulto al simular con un caudal de 0,1 m<sup>3</sup>/s**

En la figura siguiente se observa el cambio producido en la habitabilidad del río para trucha adulta al aumentar a un caudal de 2 m<sup>3</sup>/s

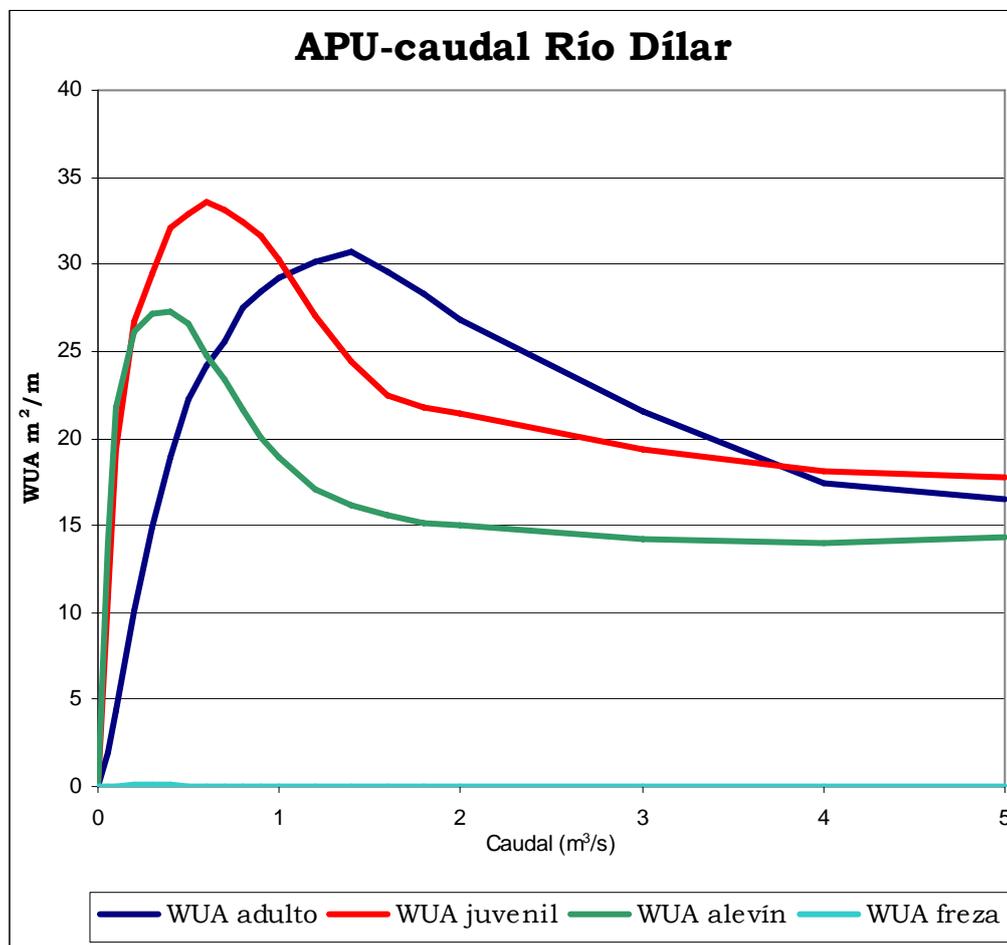


**Figura 65. Habitabilidad del tramo al simular con un caudal de 2 m<sup>3</sup>/s**

Entre las dos imágenes se aprecia un cambio, las zonas intensamente pintadas de rojo, de máxima preferencia son aproximadamente iguales, sin embargo en la segunda imagen con mayor caudal se observa un aumento de las zonas entre 0,23 y 0,36 de preferencia, lo que va a contribuir que el APU del tramo sea mayor.

La simulación se realizó en esta estación ajustando los parámetros “ $\alpha$ ” y “ $b$ ”, a 2,94 y 1,67 respectivamente.

En este tramo se han obtenidos los siguientes APU para los diferentes estados de desarrollo de la trucha común, utilizando las curvas de preferencia de esta especie adaptada a los ríos españoles.

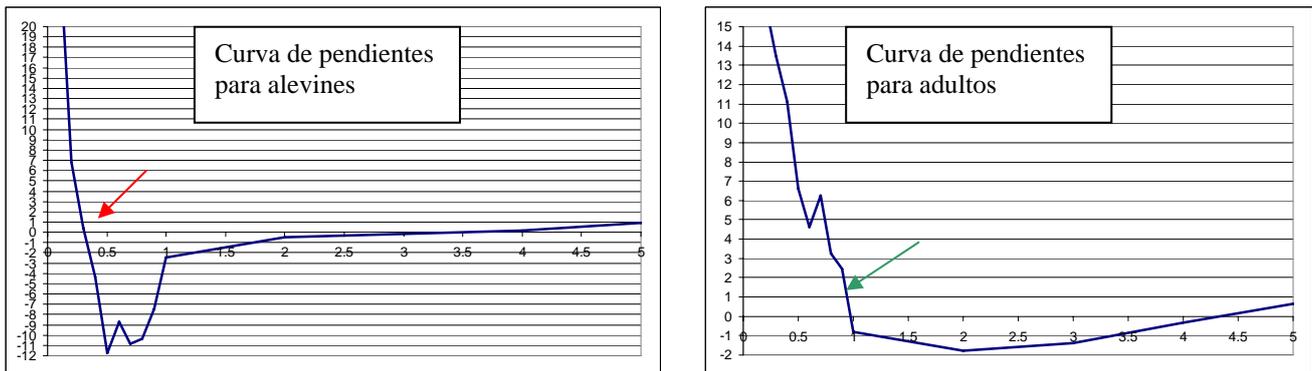


**Figura 66. Resultados APU-caudal para la estación 5 en el río Dílar para diferentes estados de desarrollo de la trucha común.**

Los adultos alcanzan sus mayores valores de Área potencial Útil (APU) con caudales alrededor de los 1,5 m³/s, mientras que las demás fases de desarrollo alcanzan los valores óptimos con caudales que varían entre los 0,3 y los 0,7 m³/s, el tramo presenta

muy pocas actitudes para la freza, como puede observarse en la línea correspondiente a este estado de desarrollo, en este caso principalmente por el tipo de sustrato.

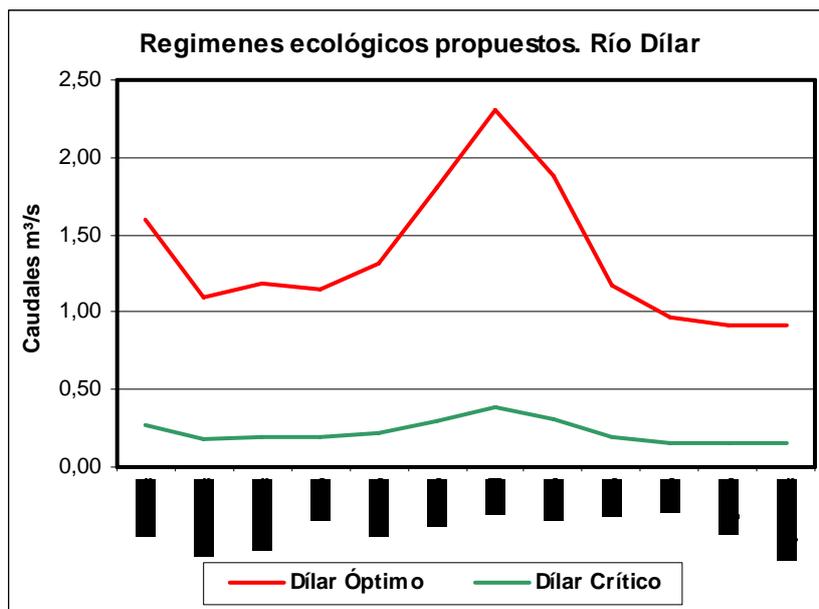
Una vez uniformizada la curva con respecto al máximo APU y al máximo caudal simulado, se calcula la pendiente de esta relación, se ha optado por obtener el caudal que produce que la pendiente sea igual a uno para los alevines, que son menos exigentes en caudal y tomar este valor como caudal mínimo, y posteriormente para los adultos y tomar esta caudal como el óptimo ecológico, en las representaciones gráficas siguientes encontramos las dos curvas de las pendientes correspondientes al estado alevín y adulto.



**Figura 67.- Relación pendiente de la curva APU de alevines a la izquierda y de adulto a la derecha con el caudal, puntos de cambio significativo de este en el tramo 5 correspondiente al río Dilar.**

Con estos resultados se considera que se podría dejar **un caudal ecológico mínimo en el tramo de 0,15 m<sup>3</sup>/s** lo que se deduce de las exigencias de los alevines, y que suponen un hábitat suficiente para el resto de estados de desarrollo, y finalmente **un caudal ecológico óptimo para años de aguas abundantes de 0,91 m<sup>3</sup>/s**, que es el que produciría la mayor cantidad de hábitat en el tramo, obtenido a partir de las exigencias de los adultos.

En el siguiente gráfico se muestra los dos regímenes calculados tanto para años secos como para años de agua abundante. Tomando como base para establecer la tasa de cambio mensual, los datos de la estación de aforo número 86, en el río Dilar.



**Figura 68. Regímenes de caudales ecológicos propuestos para el río Dílar**

Los valores correspondientes para los regímenes ecológicos de caudales mensuales son los de la tabla 12.

**Tabla 12. Caudales mensuales del régimen de caudales ecológicos para el río Dílar en años secos y en años normales.**

Caudales ecológicos en m <sup>3</sup> /s		
Río Dílar	Óptimo	Mínimo
Octubre	1,60	0,26
Noviembre	1,10	0,18
Diciembre	1,18	0,19
Enero	1,14	0,19
Febrero	1,31	0,22
Marzo	1,81	0,30
Abril	2,31	0,38
Mayo	1,88	0,31
Junio	1,17	0,19
Julio	0,97	0,16
Agosto	0,92	0,15
Septiembre	0,91	0,15

## 6.6 CAUDALES PUNTUALES. VARIACIONES Y PROPUESTAS SOBRE EL CAUDAL MÍNIMO

Como se ha indicado anteriormente, también se han calculado los valores de caudales ecológico mínimo que proporcionan el 80 y el 50 % del máximo APU obtenido en la simulación, los valores de estos caudales se encuentran en la tabla siguiente.

**Tabla 13. Valores de caudales ecológicos que corresponden al caudal que proporciona el 80 % y el 50 % del máximo área potencial útil APU; encontrada en las simulaciones de cada tramo. Se indica el valor máximo de APU encontrado en m., con el correspondiente valor del 80 y el 50 % y los caudales que proporcionan esos valores**

Río	APU max en m	APU 80 %	Caudal del 80 %	APU 50 %	Caudal Del 50 %
<b>Aguas Blancas</b>	53,23	42,58	0,65	26,62	0,23
<b>Monachil</b>	48,11	38,49	0,55	24,06	0,28
<b>Dilar</b>	28,75	23,05	0,45	14,38	0,30
<b>Darro</b>	80,15	64,12	0,34	40,075	0,21
<b>Beas</b>	30,4	24,32	0,10	16,45	0,10

## 7.- DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este proyecto se ha realizado el trabajo correspondiente a la estimación de regímenes de caudales ecológicos, para cinco tramos de ríos pertenecientes a la cuenca del Genil (Granada), que son el Darro, Beas, Aguas Blancas, Monachil y Dilar, ríos muy influidos por los aportes de formaciones acuífero situadas aguas arriba de los tramos en los que se han realizado los cálculos de caudales ecológicos; y sobre las que se está diseñando un sistema de utilización conjunta.

Se ha pretendido simular en los tramos elegidos las condiciones hidráulicas para varios caudales teniendo en cuenta la topografía de las mismas y su funcionamiento, con esto obtenemos una idea primera de las condiciones para que sean habitados estos tramos por la fauna.

El trabajo se ha realizado en dos campañas una en primavera y otra en verano, para observar diferentes condiciones hidrológicas, y valores cambiantes de caudal, en la primera campaña se realizó el levantamiento topográfico de los tramos elegidos y se tomaron datos de caudales, en la segunda campaña se midieron los caudales y la altura

del agua en el mismo tramos y en la misma sección para ajustar la curva de gasto, además de recogerse muestras de fauna invertebrada.

Los caudales obtenidos en verano suponían aproximadamente la mitad de lo obtenido en la primavera, excepto en el río Monachil en el que la reducción fue mucho más drástica puesto que el caudal se redujo en una sexta parte. Esto puede ser debido al régimen de turbinación de la central eléctrica situada aguas arriba del punto de trabajo.

De la información obtenida se desprende que sólo tres de los tramos, los correspondientes a los ríos Aguas Blancas, Monachil y Dilar, albergan poblaciones de peces, no existiendo referencias, al menos en los últimos años de presencias de poblaciones de peces en los ríos Darro y Beas, por lo que no se ha podido utilizar la fauna piscícola como el grupo de ejemplares biológicos sobre la que fundamentar las necesidades de caudal, por lo tanto en estos dos últimos ríos se ha utilizado las necesidades de hábitat de macroinvertebrados, grupo biológico que también se ha utilizado en la metodología empleada en el trabajo tanto en ríos de otros países, como en los nuestros, y de los que se dispone información suficiente para conocer sus requerimientos de hábitat.

Los resultados obtenidos hasta el momento nos sirven para obtener unos primeros caudales ecológicos estimados. En el trabajo se han obtenido dos valores uno menos exigente aplicable a años secos, denominado caudal ecológico mínimo; y otro más exigente para años de aguas abundantes considerado el caudal ecológico óptimo. También se han diseñado unos regímenes mensuales a partir de estos siguiendo la pauta de cambio natural entre los meses en estos ríos. También siguiendo la metodología de la Instrucción de Planificación Hidrológica sobre Caudales Ambientales del Ministerio de Medio Ambiente, se han calculado los caudales que proporcionan el 80 y el 50 % del APU máxima obtenida en las simulaciones.

Será necesario para el futuro corroborar los datos presentados con los que se ha elaborado estos dos tipos de regímenes, con valores del caudal natural en los tramos concretos donde se realizó la simulación hidráulica puesto que los datos de aforos utilizados pertenecen a estaciones que están localizadas en tramos distintos de los que se emplearon para el levantamiento topográfico y la estimación de los caudales ecológicos, además en dos de los ríos no existen datos de aforos. Esta comprobación será posible cuando se disponga de datos fiables de esos tramos concretos, bien obtenidos a través de modelos o bien a partir de correlaciones con los datos de aforo.

Los caudales mínimos producidos en las diferentes estaciones se encuentran en un orden de magnitud, que oscila entre los 0,09 m<sup>3</sup>/s en el río Beas, a los 0,17 m<sup>3</sup>/s en el Monachil y a los 0,18 m<sup>3</sup>/s en el Aguas Blancas, se ha comprobado la dificultad de

obtener valores adecuados en los ríos en los que no se utiliza la fauna piscícola como indicador, puesto que en algunos casos al utilizar la fauna de macroinvertebrados los requerimientos de caudal son más altos que los de los peces, por lo que se considera necesario profundizar en la investigación del tratamiento de caudales ambientales en ríos efímeros, de bajo caudal, muy somero y con faunas muy diferentes a los grandes ríos piscícolas. Los valores del resto de los ríos han sido  $0,15 \text{ m}^3/\text{s}$  en el Dilar y  $0,10 \text{ m}^3/\text{s}$  en el Darro.

Los que se han considerado caudales óptimos se encuentran en un intervalo entre los  $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$  para el Aguas Blancas y los  $0,36 \text{ m}^3/\text{s}$  en el Darro y Beas, siendo ahora más exigente un río truchero, en el que se ha buscado un buen hábitat para los adultos de este pez, que el resto.

En algunos ríos los valores obtenidos para optimizar el hábitat, son extremadamente altos si se comparan con la distribución de frecuencias de caudales medios en aportación natural de estos ríos. Estos resultados pueden venir provocados por la calidad de los datos obtenidos como régimen natural, en algunos casos los datos de aforos están alterados, y los valores obtenidos de datos de aforo no corresponden con los que circulan por esos tramos concretos de forma natural, siendo menores, bien porque están en zonas de menores aportaciones, o porque los datos de aforo han sufrido detracciones de caudal y son poco fiables para reproducir la magnitud de los caudales naturales, esto es algo que advierte la administración hidráulica con respecto a los datos del río Aguas Blancas.

Junto con la razón argumentada en el párrafo anterior, esta diferencia entre los caudales óptimos obtenidos y los que de forma natural circula por el tramo, se debe al método empleado. Los diferentes valores obtenidos en los tramos están condicionados fundamentalmente por las variables hidráulicas, y por la topografía del río, según sea esta se creara más o menos hábitat adecuado para las especies objetivo con los caudales circulantes. Esto es independiente de que en ese tramo de forma natural discurra, esa agua, ya que lo que trata el método es de optimizar el hábitat de la fauna. Por esta razón se pueden obtener caudales mayores que los que circulan de forma natural por el río, porque esos caudales son los que hacen que exista mejor hábitat para los peces. En este caso se recomienda utilizar el caudal adecuado para clases de edad menos exigentes, la mayor parte de los años, y dejar los caudales óptimos sólo para los años en los que el agua sea abundante, favoreciendo la colonización de poblaciones de peces adultos de esos tramos.

Por otra parte, es recomendable para que el caudal cumpla con todas las funciones biológicas y geomorfológicas que se le atribuyen, que se mantengan en el rango de variación natural los otros componentes del régimen según los valores obtenidos del diseño de caudales ambientales. Se deberá definir un plan de avenidas puntuales, tanto

en magnitud, frecuencia como tiempo de ocurrencia, que acompañe el patrón mensual diseñado en el régimen ecológico de caudales, y que sea lo más ajustada a la que se produce en estos ríos de forma natural. Así mismo la frecuencia, duración y fecha de los estiajes, deberá seguir la pauta que se ha obtenido analizando los regímenes naturales. También se deben tener en cuenta los valores de los incrementos diarios de caudal naturales, y en los cambios de caudal estacionales tratar de mantener estos en las magnitudes diarias obtenida en el grupo 4 de parámetros calculada en el estudio hidrológico, ya que estos ríos lo han hecho así de forma natural, puesto que los cambios diarios bruscos de caudal es una de las mayores perturbaciones que pueden introducirse en un sistema fluvial alterado.

La definición final de un régimen de caudales ecológicos necesita de un trabajo de confirmación de los valores obtenidos para el régimen ambiental completo, está deberá hacerse en un futuro con un plan de seguimiento, tanto para la comprobación de los valores de caudales naturales, como en la evolución de las poblaciones biológicas afectadas, mediante un seguimiento de la dinámica de las mismas, que permita comprobar que el objetivo de los caudales ecológicos propuesto, mantener la estructura y el funcionamiento del ecosistema natural, se está cumpliendo.

## 8.- BIBLIOGRAFÍA

- Alonso-González C, Gortázar J, Baeza Sanz D y García de Jalón D. 2005. Flow requirements as a tool for restoring brown trout population dynamics in regulated streams. *The World Conference on Ecological Restoration*. Zaragoza, 14-16 de septiembre de 2005.
- Baeza D, Alonso C, Marchamalo M, Sanjurjo D, Gortázar J, Vizcaíno P y García de Jalón D. 2005. "Proposal and verification of an environmental flow regime in the Trevélez river (Granada)". *The World Conference on Ecological Restoration*. Zaragoza, 14-16 de septiembre de 2005.
- Baeza Sanz D y García de Jalón D. 2004. The natural variability approach. Application to five rivers in the Ebro basin, Spain. En: D García de Jalón y P Vizcaíno (eds.). *Proceedings 5th International Symposium on Ecohydraulics. Aquatic Habitats: Analysis & Restoration*. Vol. II. pp: 1339-1342. Madrid, 12-17 de septiembre de 2004.
- Baeza Sanz, D.; Martínez Capel, F. y García de Jalón Lastra, D. 2004. "Variabilidad temporal de caudales: aplicación a la gestión de ríos regulados". *Ingeniería del Agua* Vol. 10. n° 4.
- Baeza Sanz, Marchamalo M. 2001. Una nueva metodología para calcular caudales ecológicos en la cuenca del Tajo. *Revista Técnica del Medio Ambiente*. Madrid.
- Baeza Sanz D, Martínez F y García de Jalón D. 2000. Análisis de los efectos de las presas en la variabilidad de los caudales de los ríos. En: *Avances en Ingeniería Ambiental*. Vol. 2. pp: 333-344. Universidad Politécnica de Cartagena.
- Baeza Sanz D y García de Jalón D. 1999. Cálculo de caudales de mantenimiento en ríos de la cuenca del Tajo a partir de variables climáticas y de sus cuencas. *Limnetica* 16: 69-84.
- Baeza Sanz D y García de Jalón D. 1997. Caracterización del régimen de caudales en ríos de la cuenca del Tajo, atendiendo a criterios biológicos. *Limnetica* 13 (1): 69-78.
- Bovee, K.D. 1982 : "A Guide to Stream Habitat Analysis using the Instream Flow Incremental Methodology". *Instr. Flow Inf. Paper 12*. USDI Fish and Wildl. Serv. Washington. 248 pp.
- Bovee, K., Stalnaker, C., Lamb, B. L., Henriksen, J. y 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.
- Brooks et al. 2005. Hydraulic microhabitats and the distribution of macroinvertebrate assemblage in riffles. *Freshwater Biology*: 50.
- Brotos Floria, Plácido Antonio. 1986. Condicionamientos hidráulicos sobre la distribución en densidad de las comunidades de macroinvertebrados del bentos. Estudio en un tramo del río Jarama (Madrid). Proyecto Fin de Carrera. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. Universidad Politécnica de Madrid.
- Covich, A.P., W.H. Clements, K.D. Fausch, J.D. Stednick, J.D. Wilkins y S.R. ABT 1995. "Ecological integrity and western water management: a Colorado perspective". *Water in the Balance*. n1 3. Colorado Water Resources Research. Institute Colorado State University.
- Cubillo, F. , C. Casado y V. Caastrillo. Estudio de Regímenes de Caudales Mínimos en los Cauces de la Comunidad de Madrid. Agencia de Medio Ambiente. Madrid. 305 pg.
- Frissell, C.A. y Bayles, D. 1996. Ecosystem management and the conservation of aquatic biodiversity and ecological integrity. *Water Resources Bulletin*. **32**. (2): 229-240.
- Doadrio, I., Elvira, B. And Y.Bernat. 1991. *Peces Continentales españoles. Inventario y clasificación de Zonas Fluviales*. MAPA-ICONA. Colección Técnica. MAPA. 221 pp. Madrid
- Escuela de Ingenieros de montes. UPM laboratorio de Hidrobiología. 2003. Planes técnicos de pesca de los cotos de la provincia de Granada.

García de Jalón et al. Realización del cálculo de aportaciones ambientales y caudales ecológicos mínimos en la cuenca hidrográfica del río Tajo. Departamento de Ingeniería Forestal-Escuela de Ingenieros de Montes-Universidad Politécnica de Madrid.

García de Jalón D y Gortázar J. 2002. Evaluation of stream restoration options using habitat simulation. Comunicación oral en el *Scaling Subgroup Meeting, European Aquatic Modelling Network, COST Action 626*. Gante (Bélgica), 2002.

García de Jalón, D. et al 1997. Regímenes de Caudales Ecológicos o de compensación: El método IFIM o del APU. Jornada sobre caudales ecológicos y Caudales de Mantenimiento. Valladolid. 9-21.

García de Jalón, D., Mayo Rustarazo, M., Hervella Rodríguez, F.; Barceló; Culebras, E. y Fernández Couto, T., 1993: "Principios y técnicas de gestión de la pesca en aguas continentales". Edita Mundi-Prensa. Madrid.

García de Jalón, D. 1990. Técnicas hidrobiológicas para la fijación de caudales ecológicos mínimos. En: Libro homenaje al Profesor D. M. García de Viedma. 183-196. A. Ramos, A. Notario & R. Baragaño (eds.). FUCOVASA. UPM. Madrid.

García de Jalón, D. 1987 River Regulation in Spain. *Reg. Rivers: Res. & Mngt.* 1, 343-348.

Gortazar et al, Planes técnicos de pesca de los cotos de la provincia de Granada. 2003. ETSI de Montes-Tragsa-Granada.

Gippel et al, 1998. Use of meted perimeter in defining minimum environmental flows. *Regulates Rivers* 14: 53-67.

Jowett 2003 . Hydraulics constraints on habitat suitability for benthic invertebrates in gravel-bed rivers. *River Research and Applications* 19:495-507.

Jowett et al. 1991. Microhabitat preferences of benthic invertebrates and the development of generalised Dletium spp. Habitat suitability curves, applied to four New Zealand rivers. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research* 25.

Manteiga, L. y C. Olmeda 1992: "La regulación del caudal ecológico". *Quercus*, 78,44-46.

Palau, A. 1994 Los mal llamados caudales "ecológicos". Bases para una propuesta de cálculo. *Obra Pública n1 28 (Ríos II)*, 84-95.

Palau, A. y J. Alcázar 1996 The basic flow: An approach to calculate minimum environmental instream flows. *Procs. 2nd Int. Symp. On Habitat Hydraulics. Vol. A: 547-558.*

Quinn and Hickey, 1994. Hydraulic parameters and benthic invertebrate distributions in two gravel-bed New Zealand rivers. *Freshwater Biology*, 32, 489-500.

Raleigh, R.F., L.D. Zuckerman y P.C. Nelson 1986 Habitat suitability index models and instream flow suitability curves: Brown trout. *U.S. Fish Wildl. Serv. Biol. Rep. No. 82, Fort Collins.* 65 pgs.

Richter, B.D., Baumgartner, J.V., Powell, J., and Braun, D.P. 1996. "A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems", *Conservation Biology*, 10, 1163-1174.

Souchon, F.Y. 1983 *Aproche Methodologique de la Determination des Dèbits Reserves*. CEMAGREF. Serv. Pêche et Hydrobiologie. Lyon.

Stalnaker, C.B. 1979 The use of habitat structure preferenda for establishing flow regimens necessary for maintenance of fish habitat. En: *The Ecology of Regulated Rivers*. J.V.Ward y J. Stanford. 326-337. Plenum Press.

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

Tennant, D.L. 1976 *Instream Flow Regimens for Fish, Wildlife, Recreation and related Environmental Resources*. *Procs. on Instream flow needs Symp.* 326-327.

White, R.G. 1976 A methodology for recommending stream resource maintenance flows for large rivers. *Procs. on Instream flow needs Symp.* 376-386.