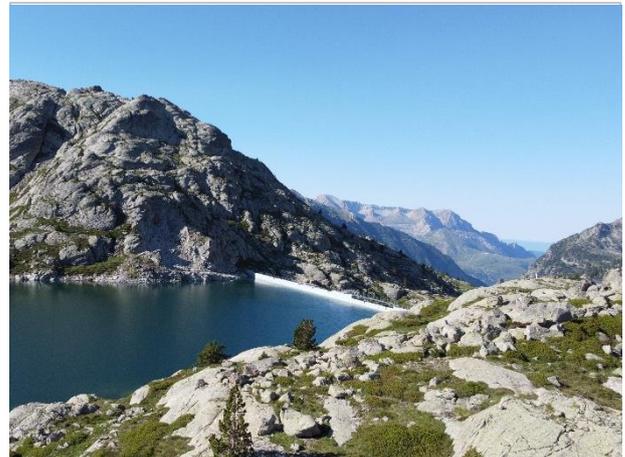




## SONDEO HIDROACÚSTICO EN EMBALSES DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO: BACHIMAÑA ALTO



---

## SONDEO HIDROACÚSTICO EN EMBALSE DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO: BACHIMAÑA ALTO

---

**PROMOTOR:**

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO



**SERVICIO:**

ÁREA DE CALIDAD DE AGUAS

**DIRECCIÓN DEL PROYECTO:**

María José Rodríguez Pérez

**EMPRESA CONSULTORA:**

ECOHYDROS S.L.



**EQUIPO DE TRABAJO:**

Agustín P. Monteoliva, Alberto Criado, María Fernández, Iván González y Omar Monteoliva

**PRESUPUESTO DE LA ADJUDICACIÓN:**

114.425,25 Euros

**CONTENIDO:**

MEMORIA/ANEJOS/CARTOGRAFÍA/CD

**AÑO DE EJECUCIÓN:**

2022

**FECHA ENTREGA:**

MARZO 2023



REFERENCIA IMÁGENES PORTADA:

Superior izquierda: Cola de Bachimaña Alto

Superior derecha: Panorámica aérea de Bachimaña Alto

Inferior izquierda: Embarcación de hidroacústica en navegación

Inferior derecha: Ejemplar de piscardo (*Phoxinus phoxinus*)

CITA DEL DOCUMENTO: Confederación Hidrográfica del Ebro (2022) Sondeo hidroacústico en embalses de la Demarcación Hidrográfica del Ebro: Bachimaña Alto 59 págs. Disponible en PDF en la web: <http://www.chebro.es>

El presente informe pertenece al Dominio Público en cuanto a los Derechos Patrimoniales recogidos por el Convenio de Berna. Sin embargo, se reconocen los Derechos de los Autores y de la Confederación Hidrográfica del Ebro a preservar la integridad del mismo, las alteraciones o la realización de derivados sin la preceptiva autorización administrativa con fines comerciales, o la cita de la fuente original en cuanto a la infracción por plagio o colusión. A los efectos prevenidos, las autorizaciones para uso no científico del contenido deberán solicitarse a la Confederación Hidrográfica del Ebro.

## SONDEO HIDROACÚSTICO EN EMBALSES DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO: BACHIMAÑA ALTO. AÑO 2022

---

*El objeto de este informe es la evaluación de la abundancia y biomasa de la biocenosis de peces del embalse de Bachimaña Alto. Para ello, en junio 2022 se realizó un muestreo cuantitativo de los peces en dicho embalse mediante una combinación de técnicas: Muestreo directo mediante redes agalleras científicas (CEN-EN 14.757/2006) y pesca eléctrica desde embarcación, y sondeo indirecto mediante técnicas hidroacústicas de calidad científica.*

*Adicionalmente, se realizó un muestreo y análisis de eDNA, para detectar la presencia de dos especies que podrían estar en números tan bajos que resultarían indetectables con las técnicas de pesca directa. Se trata de la trucha común (*Salmo trutta fario*) y la anguila europea (*Anguilla anguilla*), dos especies autóctonas en declive en los embalses de esta demarcación.*

*Los resultados establecen que la asociación está claramente dominada en densidad por el piscardo (*Phoxinus phoxinus*) que representa el 99,9 % en densidad y el 98,4 % en biomasa. La trucha común mantiene una población residual. La densidad resultante de 13,01 ind/dam<sup>3</sup> es muy alta para un embalse de montaña, aunque la biomasa se mantiene en un rango bajo (0,62 g/m<sup>2</sup>) debido al escaso tamaño de la especie dominante. En este tipo de masa de agua la mera presencia de peces se considera una alteración en términos de biodiversidad pero además la proliferación observada de piscardos supone una presión alta para la calidad del agua. Por ello se recomienda acometer programas de reducción y eventualmente erradicación de esa especie.*

*Los análisis realizados mediante la técnica de mayor sensibilidad conocida (eDNA) han permitido confirmar la presencia de trucha común y la ausencia de anguila europea. En este caso, la trucha no se había capturado en los muestreos directos y una vez constatada su presencia mediante el eDNA se ha podido estimar directamente su biomasa a partir de los registros hidroacústicos.*

*Se ha generado además una batimetría del embalse que aporta nueva información sobre su morfología.*



## HYDROACOUSTIC SURVEY IN RESERVOIRS OF THE EBRO RIVER BASIN DISTRICT: BACHIMAÑA ALTO RESERVOIR. YEAR 2022

---

*The purpose of this report is to evaluate the abundance and biomass of the fish biocenosis of the reservoir Ibón de Bachimaña Alto. For this purpose, in June 2022 a quantitative fish sampling in the reservoir was carried out using a combination of techniques: direct sampling by means of scientific gillnets (CEN-EN 14.757/2006) and boat electrofishing, and indirect sampling applying scientific grade hydroacoustic techniques.*

*In addition, eDNA sampling and analysis was carried out to detect the presence of two species that could be in such low numbers that they would be undetectable with direct fishing techniques. These are the brown trout (*Salmo trutta fario*) and the European eel (*Anguilla anguilla*), two native species in decline in the reservoirs of this demarcation.*

*The results establish that the association is clearly dominated in density by the Adour minnow (*Phoxinus phoxinus*), which represents 99,9% of total density and 98.4% of biomass. The brown trout maintains a residual population. The resulting density of 13.01 ind/dam<sup>3</sup> is high for a high-altitude reservoir, although the biomass remains in a low range (0.62 g/m<sup>2</sup>) due to the small size of the dominant species. In this type of water body, the mere presence of fish is considered an alteration in terms of biodiversity, but the observed proliferation of Adour minnow is also a high pressure on water quality. It is therefore recommended to undertake programs to reduce and eventually eradicate this species.*

*Analyses carried out using the most sensitive technique known (eDNA) have confirmed the presence of brown trout and the absence of European eel. In this case, the trout had not been captured in the direct sampling and once its presence was confirmed by eDNA, its biomass could be estimated directly from the hydroacoustic records.*

*A bathymetry of the reservoir has also been generated, which provides new information on its morphology.*



## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....</b>	<b>10</b>
1.1. <i>PRESTACIONES DE LAS TÉCNICAS APLICADAS .....</i>	11
1.2. <i>INTERÉS DEL ESTUDIO CUANTITATIVO DE LA FAUNA ÍCTICA EN MASAS DE AGUA NO VADEABLES.....</i>	12
<b>2.  ÁMBITO DE ESTUDIO.....</b>	<b>13</b>
2.1. <i>SITUACIÓN.....</i>	13
2.2. <i>CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA .....</i>	14
2.3. <i>CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL EMBALSE. PERFILES VERTICALES .....</i>	16
2.4. <i>POTENCIAL ECOLÓGICO Y ESTADO TRÓFICO .....</i>	18
<b>3.  METODOLOGÍA.....</b>	<b>18</b>
3.1. <i>DISEÑO DEL MUESTREO.....</i>	19
3.2. <i>MUESTREOS REMOTOS: HIDROACÚSTICA .....</i>	20
3.2.1. <i>Prospección hidroacústica.....</i>	20
3.2.2. <i>Procesado de datos acústicos.....</i>	21
3.3. <i>MUESTREOS DIRECTOS DE PESCA.....</i>	23
3.3.1. <i>Redes agalleras multipaño .....</i>	23
3.3.2. <i>Pesca eléctrica desde orilla.....</i>	24
3.4. <i>INTERPOLACIÓN ESPACIAL Y ESTIMACIONES GLOBALES .....</i>	25
3.5. <i>EVALUACIÓN SEGÚN EL ÍNDICE BIÓTICO QFBI.....</i>	26
3.6. <i>DETECCIÓN DE TRUCHA COMÚN Y ANGIULA EUROPEA MEDIANTE ADN AMBIENTAL.....</i>	28
3.6.1. <i>Muestreo de ADN ambiental (eDNA) .....</i>	28
3.6.2. <i>Obtención de ADN ambiental de trucha común y de anguila en muestras de agua .....</i>	29
3.6.3. <i>Detección específica de trucha común.....</i>	29
3.6.4. <i>Detección específica de anguila europea.....</i>	30
3.6.5. <i>Estimaciones de biomasa.....</i>	30
<b>4.  RESULTADOS .....</b>	<b>31</b>
4.1. <i>BATIMETRÍA .....</i>	31
4.2. <i>SONDEO HIDROACÚSTICO: DENSIDADES.....</i>	34



4.2.1.	<i>Distribución y estimación de la densidad de peces.....</i>	35
4.2.2.	<i>Comparativa con otros embalses de la cuenca del Ebro.....</i>	38
4.3.	<b>MUESTREOS DIRECTOS: COMPOSICIÓN Y BIOMASA ESPECÍFICA.....</b>	40
4.3.1.	<i>Especies presentes en el embalse.....</i>	41
4.3.2.	<i>Composición y distribución de especies.....</i>	41
4.4.	<b>BIOMASA.....</b>	45
4.4.1.	<i>Distribución y estimación de la biomasa de peces.....</i>	45
4.4.2.	<i>Comparativa con otros embalses de la cuenca del Ebro.....</i>	47
4.5.	<b>DENSIDAD Y BIOMASA POR ESPECIES.....</b>	49
4.6.	<b>MUESTREOS INDIRECTOS: ADN AMBIENTAL.....</b>	50
4.6.1.	<i>Muestras ambientales de agua.....</i>	50
4.6.2.	<i>Detección de trucha común mediante qPCR y estimaciones de biomasa.....</i>	50
4.6.3.	<i>Detección de anguila europea mediante qPCR y estimaciones de biomasa.....</i>	51
5.	<b>VALORACIÓN SEGÚN EL ÍNDICE QFBI.....</b>	52
6.	<b>CONCLUSIONES.....</b>	54
7.	<b>GLOSARIO Y ACRÓNIMOS.....</b>	56
8.	<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	58

## ÍNDICE ANEXOS

---

- Anexo 1. Especies presentes
- Anexo 2. Resultados de las pescas
- Anexo 3. Celdas del muestreo hidroacústico (en versión digital)
- Anexo 4. Boletines de ensayo eDNA

## ÍNDICE DE TABLAS

---

Tabla 1. Estratos considerados en Bachimaña Alto.....	16
Tabla 2. Descripción de las redes de muestreo empleadas. ....	23
Tabla 3. Métricas y coeficientes para el cálculo del QFBI .....	27
Tabla 4. Valores de corte del QFBI empleados para la clasificación del potencial ecológico .....	27
Tabla 5. Valores de diferentes índices morfométricos en el embalse de Bachimaña Alto a partir del nuevo MDT .....	32
Tabla 6. Densidad de peces (ind/dam <sup>3</sup> ) por estratos, estimada mediante acústica .....	35
Tabla 7. Especies presentes en el embalse.....	41
Tabla 8. Ejemplos de las redes utilizadas durante los muestreos directos en Bachimaña Alto .....	42
Tabla 9. Resultados de las pescas con red por especies .....	42
Tabla 10. Tracks de pesca eléctrica realizados durante los muestreos directos en Bachimaña Alto. ....	43
Tabla 11. Resultados de la pesca eléctrica por especies .....	44
Tabla 12. Biomasa de peces por estratos (g/m <sup>2</sup> ) estimada mediante acústica .....	45
Tabla 13. Densidades (ind/dam <sup>3</sup> ) y biomazas (g/m <sup>2</sup> ) por especie .....	49
Tabla 14. Resultados del QFBI obtenidos para el Ibón de Bachimaña Alto .....	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

Figura 1. Técnico midiendo parámetros fisicoquímicos en un punto de muestreo de peces en Bachimaña Alto.....	12
Figura 2. Situación del embalse del Ibón de Bachimaña Alto.....	13
Figura 3. Batimetría del Ibón de Bachimaña Alto .....	15
Figura 4. Perfil de la presa del Ibón de Bachimaña Alto sobre mapa topográfico y vuelo Lidar/ Fuente: Elaboración propia.....	15
Figura 5. Perfiles fisicoquímicos de Bachimaña Alto (BCA22_S1PRO1) .....	17
Figura 6. Esquema del método de censado de poblaciones ícticas en un embalse .....	19
Figura 7. Esquema de la disposición de elementos y comunicaciones en el sondeo acústico .....	21
Figura 8. Ubicación de redes epipelágicas en Bachimaña Alto .....	24



Figura 9. Equipo de electropesca desde embarcación en el embalse de Bachimaña Alto .....	25
Figura 10. Ejemplo de ajuste de curva al semivariograma para el interpolado espacial .....	26
Figura 11. Ubicación de las estaciones de muestreo directo de diferente tipo en Bachimaña Alto .....	28
Figura 12. Curva hipsométrica obtenida con el nuevo MDT del Ibón de Bachimaña Alto.....	31
Figura 13. Representaciones de la batimetría del Ibón de Bachimaña Alto. Fuente: Elaboración propia..	33
Figura 14. Recorridos del sondeo hidroacústico en el Ibón de Bachimaña Alto.....	34
Figura 15. Ejemplo de un ecograma obtenido con el haz horizontal en el Ibón de Bachimaña Alto .....	35
Figura 16. Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la densidad de peces en los estratos superior (arriba) e inferior (abajo).....	37
Figura 17. Comparación de la densidad con otros embalses de la cuenca del Ebro .....	39
Figura 18. Fotografías de las labores de muestreo en el Ibón de Bachimaña Alto .....	40
Figura 19. Ejemplares de <i>Phoxinus phoxinus</i> capturados en el Ibón de Bachimaña Alto y su curva de longitud/peso. ....	41
Figura 20. Composición de la asociación obtenida mediante redes.....	42
Figura 21. Recogida de red pelágica en la zona anterior del embalse de Bachimaña Alto .....	43
Figura 22. Composición de la asociación obtenida mediante pesca eléctrica.....	44
Figura 23. Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la biomasa de peces en los estratos superior (arriba) e inferior (abajo).....	46
Figura 24. Comparación de la biomasa con otros embalses de la cuenca del Ebro .....	48
Figura 25. Recta patrón para la cuantificación de las muestras ambientales, representadas por los ciclos de amplificación (Ct) frente a la cantidad de ADN detectada .....	50
Figura 26. Recta patrón para la cuantificación de las muestras ambientales, representadas por los ciclos de amplificación (Ct) frente a la cantidad de ADN .....	51

## 1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

El presente documento constituye el informe final de los trabajos realizados en el embalse de Bachimaña Alto (Huesca) durante el año 2022, incluidos en la Asistencia Técnica “Sondeo hidroacústico en embalses de la Demarcación Hidrográfica del Ebro” adjudicado a Ecohydros, S.L. por la Confederación Hidrográfica del Ebro (en adelante, CHE).

La CHE viene realizando desde hace años estudios censales de peces en embalses mediante la combinación de técnicas hidroacústicas y de captura directa con métodos científicos. A lo largo de este tiempo, la metodología se ha depurado y es un momento óptimo para su aplicación a las masas de agua que no han sido aún prospectadas en este aspecto.

Además, se ha realizado un muestreo y análisis de eDNA en cada embalse, para detectar la presencia de dos especies que podrían estar en números tan bajos que resultarían indetectables con las técnicas de pesca directa (redes agalleras y electropesca). Se trata de la trucha común (*Salmo trutta*) y la anguila (*Anguilla anguilla*), dos especies autóctonas en declive debido a la presencia de presas u obstáculos en los ríos que suponen una barrera para su desplazamiento natural, ya sea por movimientos migratorios reproductivos o alimentarios.

En el presente informe se presentan los trabajos realizados en la evaluación de las poblaciones de peces de Bachimaña Alto, al tiempo que se somete a contraste el rendimiento de las técnicas hidroacústicas combinadas con muestreos directos de verificación y con métodos de detección de alta sensibilidad (eDNA), como futura metodología de aplicación en las masas de aguas no vadeables para evaluar la biomasa de peces en estos ecosistemas.

El informe recoge la descripción de los métodos aplicados, así como los resultados obtenidos. Consta de una Memoria con sus respectivos ANEXOS, en los que se facilitan *in extenso* los datos que dan lugar las estimaciones sintéticas, tanto en forma de fichas y tablas alfanuméricas como en forma de mapas, según proceda. Se acompaña además de un CD en el que se facilitan los documentos y datos en formato electrónico.

### 1.1. PRESTACIONES DE LAS TÉCNICAS APLICADAS

Las técnicas hidroacústicas constituyen actualmente la técnica remota por excelencia para cartografiar hábitats y elementos biológicos, tanto los relacionados con los fondos (bentónicos), como con la columna de agua. Los gestores de los ecosistemas acuáticos necesitan identificar y cartografiar los elementos naturales a través de múltiples escalas espaciales, y, en este sentido, los sistemas acústicos resultan óptimos por su enorme rango dinámico, que permite medir propiedades de los objetos desde escalas de centímetros a kilómetros.

La comunidad científico-técnica hace tiempo que ha aceptado los sensores acústicos como una familia de herramientas óptima para estudiar cuantitativamente una diversidad de aspectos relacionados con la morfología y características de los sustratos, sedimentos, rasgos de pequeña escala de los hábitats bentónicos e incluso de la estructura de las comunidades de organismos (animales y plantas) que forman parte de ellos. Esto también es aplicable a organismos pelágicos, permitiendo individualizar elementos biológicos en un rango que trascurre desde escasos milímetros (zooplancton) a varios metros (peces y cetáceos). De hecho, existe ya un cuerpo de conocimiento y tecnología muy desarrollados y con cierta tradición, si bien es cierto que su correcta aplicación depende de una formación técnica altamente especializada.

En lo referente a su aplicación en estudios censales y de dinámica poblacional de los peces, está relativamente extendida en ambientes marinos y en aguas continentales se aplica de forma creciente, debido en gran medida a la elevada portabilidad de los equipamientos hidroacústicos actuales. Existe una norma europea (CEN EN 15910: 2014 *Water quality - Guidance on the estimation of fish abundance with mobile hydroacoustic methods*) que contempla este tipo de técnicas para la evaluación de la biomasa de peces.

Se es consciente de la oportunidad que representa la adaptación y aplicación de estas técnicas a las masas de aguas continentales, para mejorar la cantidad y calidad de la información biológica disponible en las masas de agua no vadeables, es decir, no accesibles a las técnicas de muestreo que requieren el acceso a pie del operario, razón por la que ha promovido el presente estudio.

## 1.2. INTERÉS DEL ESTUDIO CUANTITATIVO DE LA FAUNA ÍCTICA EN MASAS DE AGUA NO VADEABLES

La fauna de peces representa un nivel elevado en la red trófica de los ecosistemas acuáticos e integra información espacio-temporal a mayor escala que los invertebrados. De ahí que resulte de interés su estudio desde diferentes puntos de vista, que transcurren desde la perspectiva de la conservación de la biodiversidad (especies amenazadas, especies invasoras, etc.), a su gestión como recurso pesquero, pasando por su interacción con la calidad de las aguas y su valor indicador del estado (potencial) ecológico (p.e. *Poikane et al.*, 2015).

A diferencia de los otros elementos biológicos utilizados como indicadores, los peces integran información plurianual y su papel en la clasificación de estas masas de agua no debe ser desdeñado *a priori*, máxime cuando una de las consecuencias más conspicuas de la degradación de las aguas son las mortandades piscícolas.

Es también muy relevante el papel que pueden desempeñar los peces en el ciclo biogeoquímico del embalse y en la calidad del agua en general, a través de mecanismos con repercusión en la red trófica y el control desde arriba del fitoplancton, pero también mediante el incremento del tiempo de residencia de las formas biodisponibles de los nutrientes en la columna de agua provocado por acciones de resuspensión y bombeo desde los sedimentos.



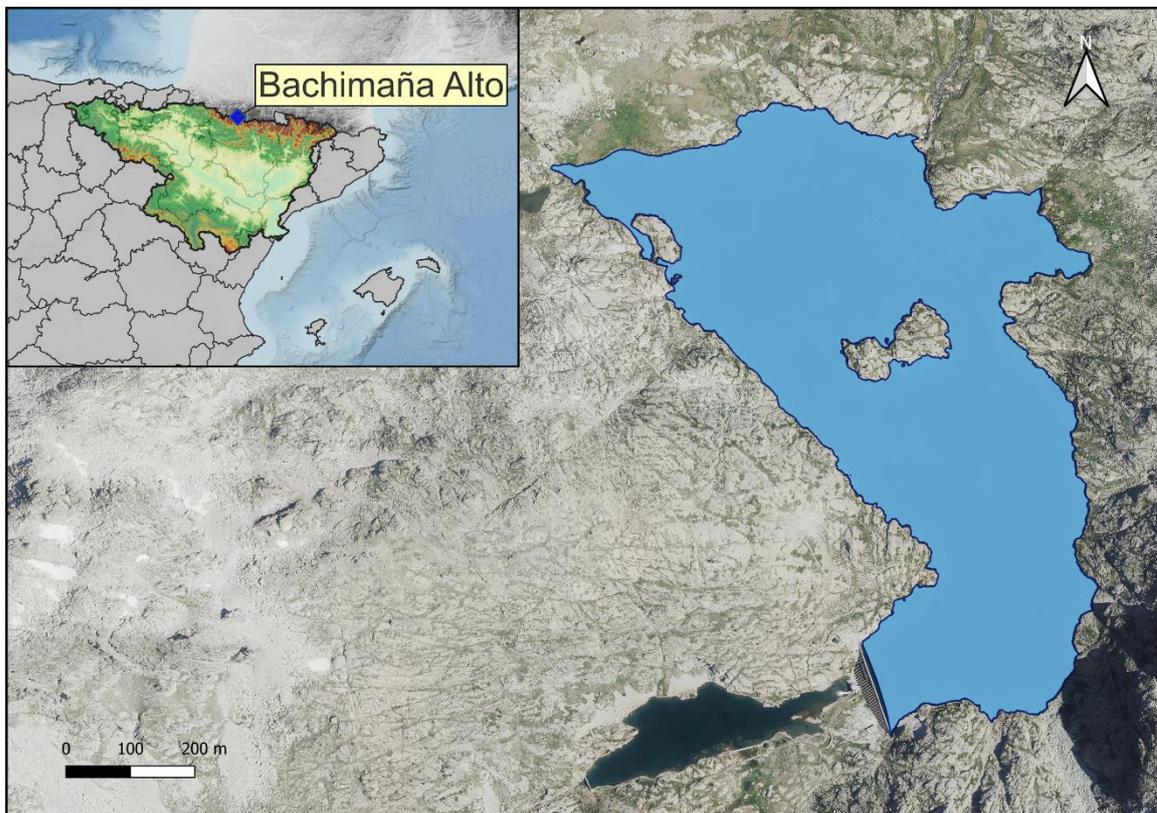
Este tipo de problemas se ponen especialmente de manifiesto en situaciones de sequía y bajas reservas de agua en los embalses, y las técnicas hidroacústicas permiten obtener la información básica necesaria mediante procedimientos ya muy afianzados, como se puede constatar en los tratados técnicos (Simmonds & MacLennan, 2005) y en las normas estándar existentes (ver más adelante).

**Figura 1.** Técnico midiendo parámetros fisicoquímicos en un punto de muestreo de peces en Bachimaña Alto

## 2. ÁMBITO DE ESTUDIO

### 2.1. SITUACIÓN

El embalse de Bachimaña Alto (MAS 986) se sitúa en el valle de Tena, en el pirineo aragonés oscense. Se localiza en el término municipal de Panticosa, en la provincia de Huesca. Pertenece al Parque Natural de los Valles Occidentales, formando parte del espacio protegido Red Natura 2000. Es utilizado como embalse de aguas para abastecimiento y defensa frente avenidas. Recibe su aporte hídrico del deshielo de los picos que lo rodean: el Serrato y el Chuans. Además, recibe el aporte de otros Ibones como el Ibón de Bramatuero Bajo, Ibones de Pecico, Ibón Azul Superior y del Ibón Azul Inferior, a través de los barrancos que lo rodean.



**Figura 2.** Situación del embalse del Ibón de Bachimaña Alto

El uso del agua embalsada es para el abastecimiento, que del embalse de Bachimaña Alto pasa al de Bachimaña Bajo, que nutre el río Caldars hasta su llegada a Baños de Panticosa, donde posteriormente llega al Ibón de Baños, regulando las aguas del río antes de su paso por Panticosa.

## 2.2. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA

Según el inventario nacional de presas y embalses, el embalse de Bachimaña Alto tiene una capacidad máxima de 7 hm<sup>3</sup> y ocupa en su nivel máximo normal (NMN) una superficie de 40 ha, lo que supondría una profundidad media de 21 m y máxima de 45,6 m.

El muestreo hidroacústico, como se explica más adelante en el apartado 3.2, permite obtener una batimetría aproximada que se emplea para cubicar los diferentes estratos y ponderar las densidades y biomásas obtenidas por capa. En la Figura 4 se representa en planta el modelo batimétrico digital obtenido.

A partir de los datos batimétricos del sondeo y de los datos del vuelo LiDAR del IGN, se ha generado un modelo digital de elevaciones. El embalse presentó durante el muestreo (28 - 29 de junio de 2022) una profundidad media de 15,7 m y máxima de 37,5 m; la cota durante esas fechas estaba en el entorno de 2197,3 msnm, que según la hipsometría generada corresponde a un volumen de 5,8 hm<sup>3</sup> y a un área de 37 ha.

Se ha realizado un trabajo previo de tratamiento de imágenes de satélite para aproximar el contorno correspondiente al límite del agua en el momento del muestreo, o en fechas cercanas. Para ello, se ha recurrido al satélite *Sentinel-2*, equipado con los últimos sensores multiespectrales (MSI), que disponen de una resolución radiométrica de 13 bandas espectrales que se distribuyen en el espectro electromagnético, desde el VNIR (Visible) al SWIR (infrarrojo cercano). Mediante la combinación de estas bandas se pueden generar diferentes índices, muy frecuentemente referidos a la vegetación.

Tras realizar el estudio morfológico, se han evidenciado diferencias significativas entre las cotas del nivel máximo normal del embalse de Bachimaña Alto que figuran en la ficha técnica y las obtenidas a partir de la integración de los vuelos de ortofotografía aérea con la tecnología LiDAR y los datos batimétricos sacados de los sondeos acústicos. Según la ficha técnica, la cota del NMN es de 2.205,4 metros que, al realizar una comprobación con el mapa cartográfico y el modelo digital del terreno obtenido en este trabajo, corresponde a la cota 2.199,0 metros, lo que supone una diferencia de 6,4 metros.

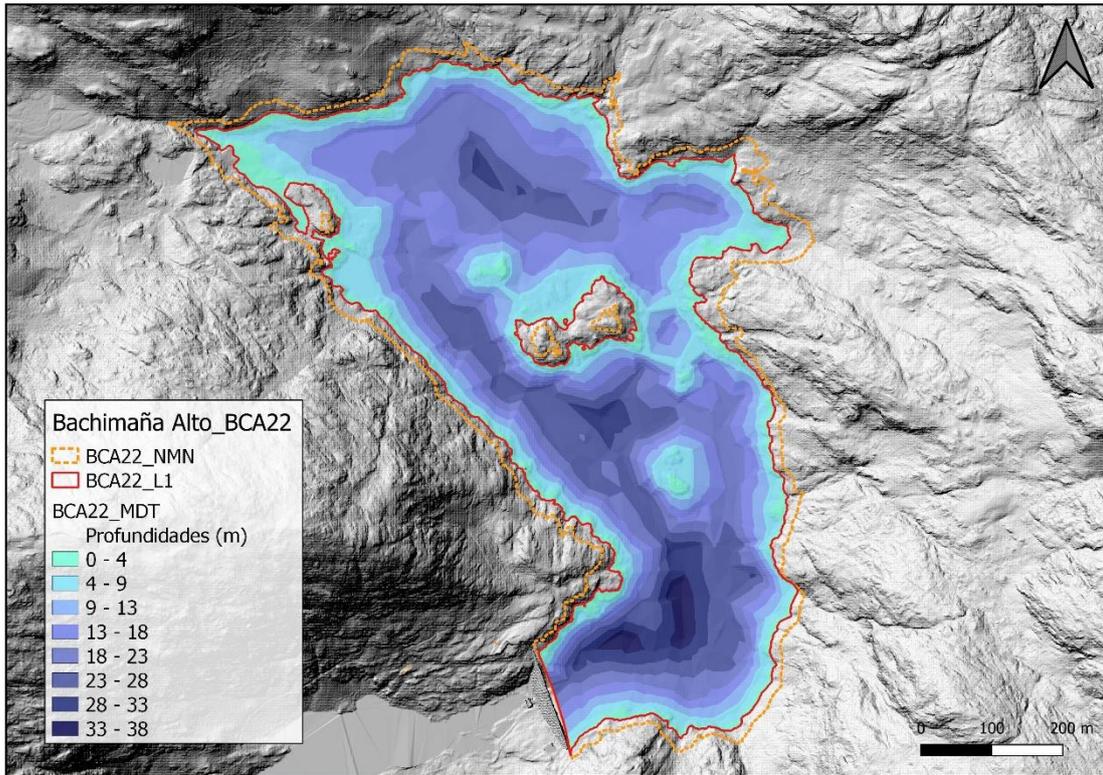


Figura 3. Batimetría del embalse de Bachimaña Alto

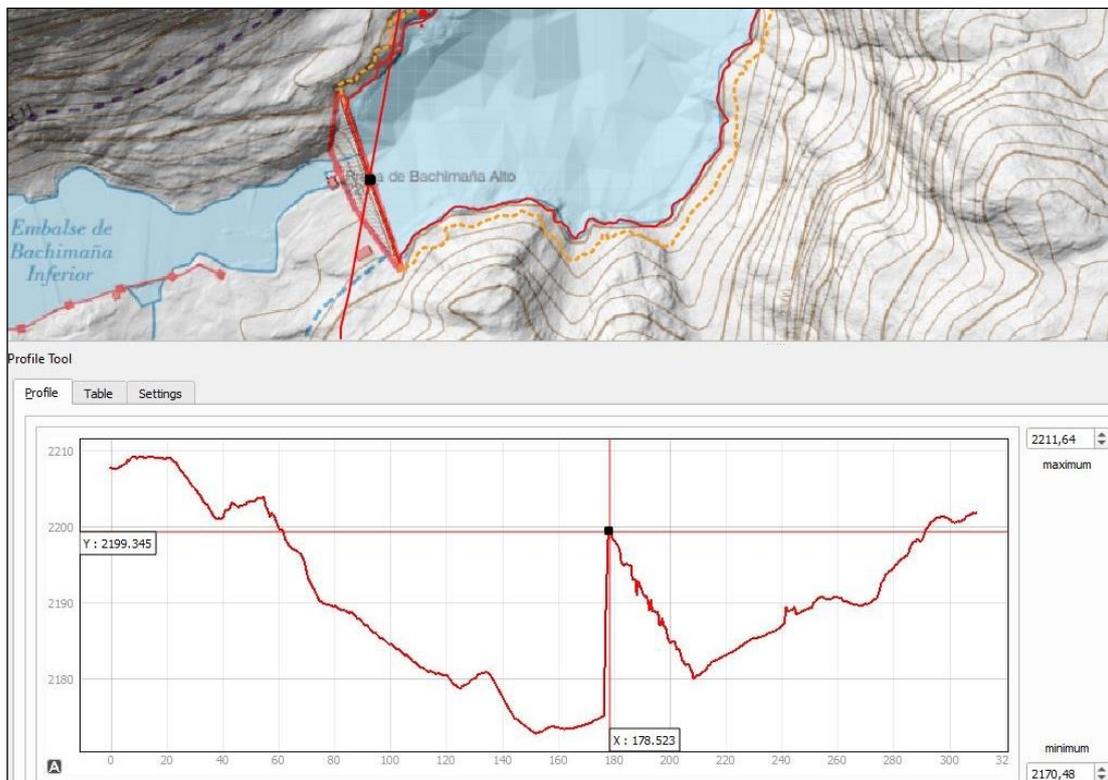


Figura 4. Perfil de la presa del embalse de Bachimaña Alto sobre mapa topográfico y vuelo Lidar/ Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 1 se presenta el volumen y la superficie del estrato considerado en este caso, obtenidos a partir de la batimetría anterior. Los volúmenes de los estratos pueden presentar ciertas desviaciones con respecto a los volúmenes reales; los motivos de esta desviación son múltiples (efecto del procedimiento de interpolación espacial, resolución de la batimetría, acumulación de sedimentos, nivel del embalse, etc.).

**Tabla 1.** Estratos considerados en Bachimaña Alto

Embalse	Sector	Estrato	Profundidad (m)	Volumen (hm <sup>3</sup> )	Superficie (ha)
BCA22	1	L1	0 a 5	1,751	37,0
		L2	5 a 38	4,125	32,7

### 2.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL EMBALSE. PERFILES VERTICALES

Para guiar la definición de macrohábitats y establecer la velocidad real del sonido en el agua (parámetro fundamental para el ecosondeo), así como detectar zonas potencialmente hostiles para los peces, se realizó en la zona de máxima profundidad un perfilado vertical de temperatura, conductividad eléctrica, pH, oxígeno disuelto y turbidez. En los gráficos siguientes se presentan los perfiles obtenidos.

En la Figura 5 se recogen los parámetros resumen de cada perfil vertical y la representación gráfica del mismo en la estación de muestreo más cercana a la presa (BCA22\_S1PRO1).

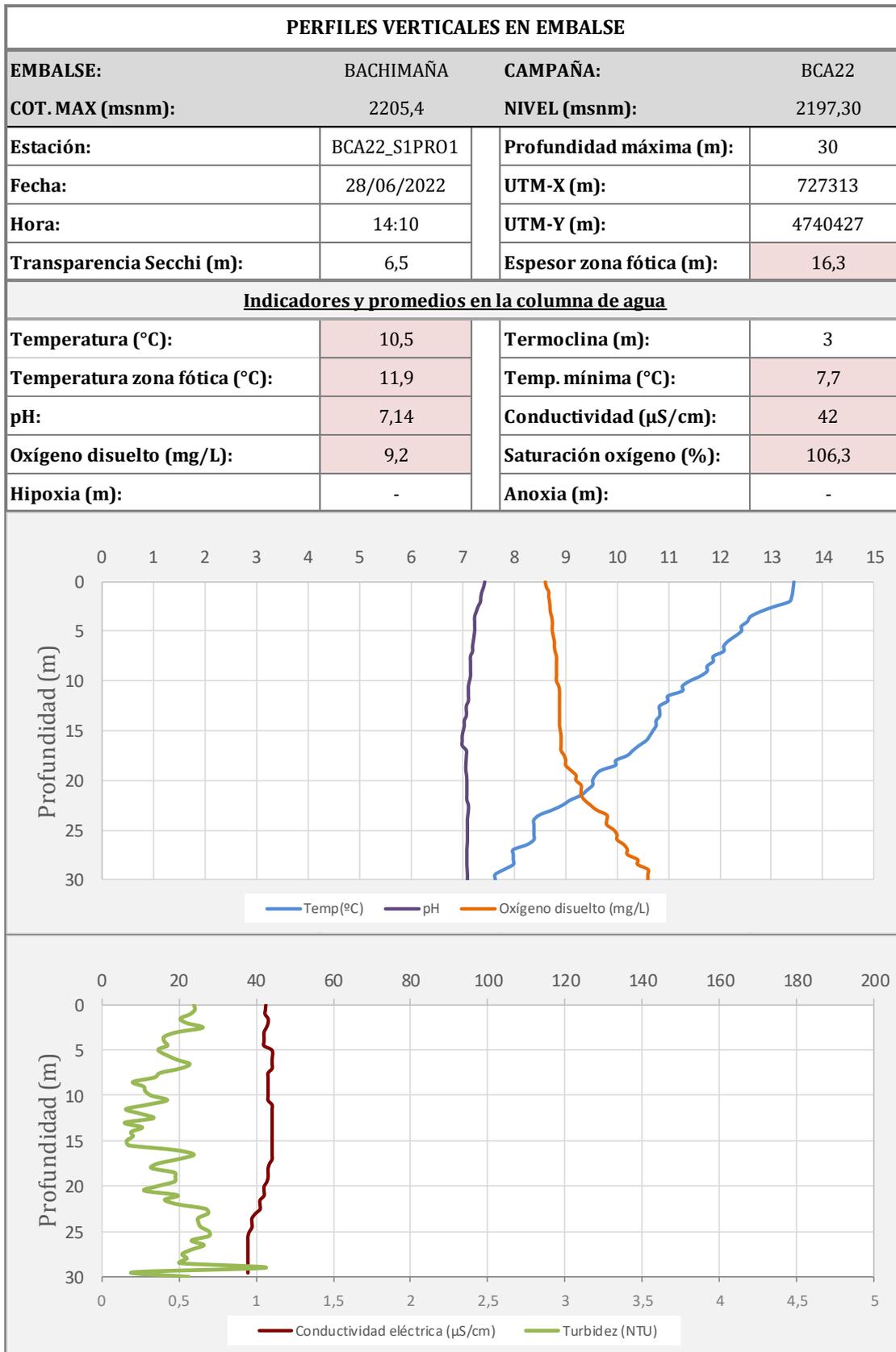


Figura 5. Perfiles fisicoquímicos de Bachimaña Alto (BCA22\_S1PRO1)

Como se observa en el perfil de la zona del vaso principal la profundidad es de 30 m y no se observa una termoclina nítida, aunque la temperatura desciende progresivamente desde 13,5°C a 7,5 °C en el fondo. Las condiciones de oxigenación de la columna de agua son buenas, manteniendo una concentración promedio de 9,2 mg/L en la columna de agua; debido al descenso de la temperatura, a medida que aumenta la profundidad la concentración de oxígeno disuelto en la columna de agua también se incrementa.

El pH es ligeramente básico y constante, disminuyendo ligeramente en profundidad, siendo su valor promedio de 7,14 ud de pH. La transparencia del agua registrada en la lectura del disco Secchi es de 6,5 m lo que supone una profundidad de la zona fótica de 16,3 metros. Este espesor de la capa fótica es congruente con los valores observados de turbidez que presenta valores muy bajos a lo largo de toda la columna de agua, alcanzando su valor máximo de 1 NTU a los 29 metros de profundidad.

#### **2.4. POTENCIAL ECOLÓGICO Y ESTADO TRÓFICO**

El embalse de Bachimaña Alto se cataloga en el ecotipo ET-13 "Dimíctico". Este embalse está incluido en la red de control de vigilancia y en la red de control operativo, y ha sido catalogado como oligotrófico y potencial ecológico "moderado" y un estado final del embalse "Inferior a bueno", según el informe final de Seguimiento de Embalses 2021 de la Confederación Hidrográfica del Ebro.

### **3. METODOLOGÍA**

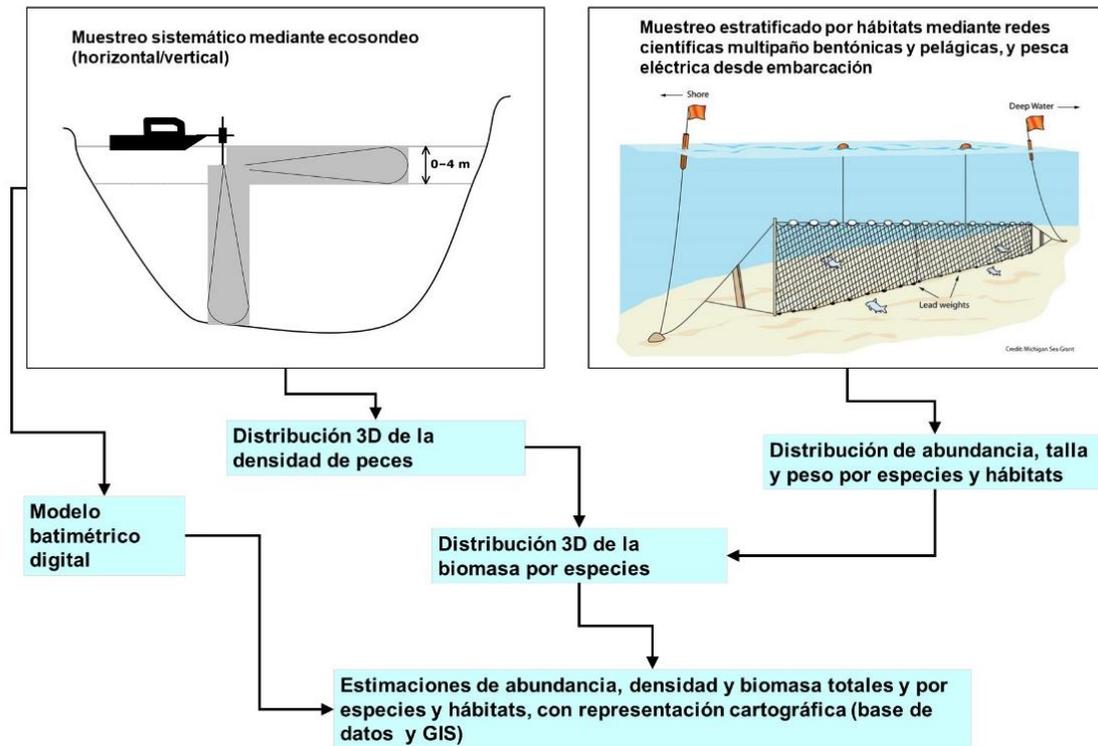
Se ha aplicado un procedimiento de muestreo sistemático mediante ecosondeo vertical y horizontal, combinado con muestreos directos por medio de la extensión de redes y pesca eléctrica desde embarcación.

El procedimiento general empleado, que se plasma en la Figura 6, establece diferentes técnicas de muestreo en función de los macrohábitats diferenciados. Como se puede observar en la citada figura, el procedimiento de trabajo se basa en la combinación optimizada de diferentes técnicas prospectivas y de análisis.

Mediante los sondeos acústicos en posición vertical y horizontal se obtiene una alta densidad muestral relativa a la densidad y talla acústica de los peces, y cada elemento de análisis se posiciona en tres dimensiones (latitud, longitud y profundidad). Además, se obtiene un

levantamiento del fondo que permite elaborar un modelo batimétrico digital, que sirve para ubicar adecuadamente las estimaciones poblacionales en cada macrohábitat.

## Metodología de censo de peces



**Figura 6.** Esquema del método de censo de poblaciones ícticas en un embalse

Mediante el muestreo con métodos directos de pesca científica en lugares representativos de los diferentes sectores definidos (macrohábitats), se alcanza un conocimiento de la distribución de especies y relaciones entre la talla y el peso, que permiten finalmente estimar biomazas por especies y sectores.

### 3.1. DISEÑO DEL MUESTREO

Se ha planteado una distribución sistemática de las unidades de muestreo acústico, con una separación entre transectos de entre 50 y 100 m.

No obstante, se han realizado además recorridos periféricos adicionales proyectando el haz horizontal hacia las riberas, es decir, perpendicularmente a la línea de costa, en aquellos lugares en que la diferenciación del hábitat lo aconsejaba. Con ello se ha maximizado el alcance del sondeo en zonas someras, menos accesibles a un ecosondeo vertical.

Con el objetivo de conocer la composición específica del embalse, se dispusieron una serie de redes agalleras multipaño tratando de cubrir los gradientes presa-cola, zona litoral-zona pelágica y por último el gradiente en profundidad. En las zonas litorales, además se realizaron transectos de pesca eléctrica desde embarcación.

En 3 estaciones de muestreo, coincidentes con puntos de pesca directa, se han tomado muestras de agua para análisis de eDNA de trucha común y de anguila. En esos mismos puntos se han realizado perfiles verticales de parámetros físico-químicos y registros de transparencia del agua mediante disco de Secchi.

Los muestreos acústicos y de pesca directa se han realizado simultáneamente entre los días 28 y 29 de junio de 2022.

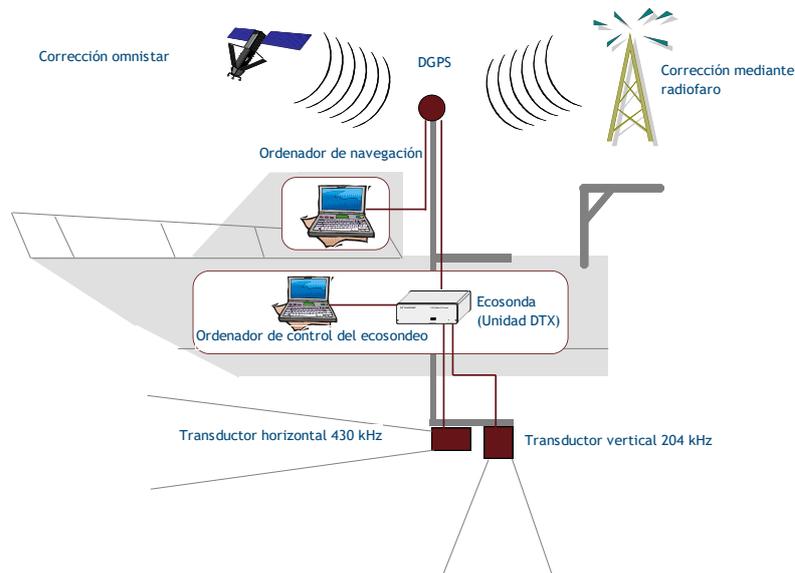
## **3.2. MUESTREOS REMOTOS: HIDROACÚSTICA**

### **3.2.1. Prospección hidroacústica**

El equipo utilizado es una ecosonda científica BioSonics DTX, con un transductor elíptico digital de haz dividido y frecuencia de 430 kHz, orientado horizontalmente, y un transductor digital de haz dividido y frecuencia de 200 kHz, orientado verticalmente. Estos sistemas ofrecen un rango dinámico muy superior a los analógicos. El transductor utilizado en orientación vertical tiene un ángulo de apertura de 10°, lo que permite obtener un volumen muestral que casi duplica los de los transductores estándar.

Los transductores van sujetos lateralmente al barco mediante un soporte construido *ex profeso* que los mantiene sumergidos en su posición, horizontal o vertical, y orientados perpendicularmente al avance de la embarcación.

Durante la adquisición de datos, las posiciones proporcionadas por el sistema GPS se incorporan de forma automática y directa a los ficheros de datos, de modo que los datos de cada medición efectuada por la ecosonda van vinculados de forma inequívoca a sus respectivas posiciones. Con cada pulso o muestra, el sistema adquiere información sobre todos los objetos que se encuentran en ese momento en la columna de agua y dentro del haz acústico que emite la sonda.



**Figura 7.** Esquema de la disposición de elementos y comunicaciones en el sondeo acústico

Los datos adquiridos se someten a un postproceso, mediante el cual se extraen de los ficheros de datos crudos, adquiridos en el campo y las posiciones originales suministradas por el GPS. Para ello, se empieza por identificar el fondo en cada ecograma.

Posteriormente, se visualizan en forma de ecograma todos los datos acústicos obtenidos y se revisan para descartar posibles artefactos (detecciones de burbujas, etc.) en los ficheros, excluyendo de esta forma falsos ecos.

### 3.2.2. *Procesado de datos acústicos*

Se ha empleado una combinación de las técnicas de detección de ecos (ecoconteo y recuento de rastros) y de ecointegración. La técnica de detección de ecos permite, para cada ping (muestra) o rastro, catalogar cada señal como objetivo (pez) y estimar su intensidad acústica, mientras que, en el caso de la ecointegración, se estima la intensidad acústica de una agrupación de peces y se asigna una intensidad media por individuo.

Esta última técnica se aplica a las agrupaciones densas (bancos) de peces, que no permite a los sistemas acústicos resolver ecos individuales, y también a la insonificación horizontal, en la que variabilidad de la señal en función de la orientación del pez respecto al haz es alta y sigue patrones desconocidos en un sondeo móvil. Se aplica en todos los casos al estrato superficial, en el que el sondeo se realiza con orientación horizontal del haz, dado que la estimación de la talla acústica individual en este tipo de sondeo móvil presenta un alto grado de incertidumbre.

En este embalse se ha aplicado la técnica de conteo de rastros para estimar la abundancia en los estratos profundos, sondeados con orientación vertical del haz acústico, dado que la densidad de peces y el ruido por otros factores (burbujas, etc) no son excesivos. Los ecos se compensan con la distancia al eje del haz.

Además de la densidad de peces en cada celda georreferenciada, se obtiene la intensidad media del blanco o talla acústica (TS, expresada en dB).

Para convertir la TS en talla física del pez, en los ecogramas obtenidos mediante orientación vertical del haz se ha aplicado un algoritmo adaptado a la frecuencia acústica aplicada, a partir de la ecuación básica de Love (1977).

En este caso no se ha detectado trucha común en los muestreos directos, pero sí en el análisis de eDNA, y además se han registrado señales acústicas de mayor tamaño que las que corresponden a la otra especie detectada, el piscardo. Se ha optado entonces por asignar a los datos hidroacústicos de densidad y biomasa directamente la especie, sin utilizar las capturas. A diferencia de la mayor parte de los casos, el hecho de que solamente haya dos especies y que tengan rangos de tallas diferenciados permite hacer este ejercicio que lleva a estimaciones cuantitativas directas por especies a partir de los registros acústicos. A partir de la distribución de pesos de las pescas de piscardos, el criterio de corte se ha establecido en 15 g, es decir, se asume que todas las detecciones acústicas que superan esa talla proceden de truchas.

En el caso de la eointegración se ha utilizado la talla media de las capturas obtenidas en las pescas para obtener la intensidad de reverberación de sección transversal (*backscattering cross section*) utilizando regresiones *ad hoc* (Kubecka *et al.*, 2009).

### 3.3. MUESTREOS DIRECTOS DE PESCA

#### 3.3.1. *Redes agalleras multipaño*

A efectos de obtener información sobre la distribución de especies y las relaciones talla/peso, se han calado redes de muestreo científico de tipo NORDIC (Fiskerivertket 2000:1), desarrolladas por el *Nordic Freshwater Fish Group* y que constituye un estándar internacional (CEN-EN 14.757/2006).

Constan estas redes de 12 paños agalleros de luz creciente, que va desde 5 hasta 55 mm, en una longitud total de 10 m, 30 m o 40 m de largo y de 1,5 ó 6 m de alto. La ratio entre la luz de paños consecutivos es de 1,25 y sigue una progresión geométrica. Este tipo de red constituye un arte de pesca no sesgado, puesto que captura con similar probabilidad todas las tallas.

Para completar la información aportada por las redes estándar, se han empleado otras redes formadas por cuatro paños de luces de mayor tamaño cuyo objetivo es la caracterización de las tallas grandes.

La nomenclatura de cada red depende de la ubicación y la altura a la que se despliega, de tal manera que hay redes bentónicas (caladas al fondo), mesopelágicas y epipelágicas, ubicadas ambas en la zona pelágica y caladas, respectivamente, a una profundidad intermedia y en superficie.

**Tabla 2.** Descripción de las redes de muestreo empleadas.

Código	Número de paños * Longitud (m)	Luz de malla (mm)	Longitud * Altura (m)	Esfuerzo respecto a estándar
BEN	16 * 2,5	5 - 135	40 * 1,5	1,33
EPL	15 * 2,5	6,25 - 135	37,5 * 6	5
MPL	15 * 2,5	6,25 - 135	37,5 * 6	5

La unidad estándar de esfuerzo de pesca está constituida por una red de 12 paños y 1,5 m de altura (45 m<sup>2</sup>), calada durante 12 h. El esfuerzo de muestreo se ha repartido geográficamente siguiendo una previsión de hábitats o, como se suelen denominar en este tipo de trabajos, “polos de atracción”. En este caso, el diseño muestral no responde a un carácter sistemático sino estratificado por sectores y hábitats.



**Figura 8.** Ubicación de redes epipelágicas en Bachimaña Alto

### **3.3.2. Pesca eléctrica desde orilla**

Además de las pescas con redes, en las zonas litorales someras de menos de 1,5 metros de profundidad, especialmente en presencia de macrófitos acuáticos o vegetación de ribera, se realizó un muestreo complementario mediante pesca eléctrica desde orilla en las zonas vadeables.

Dada la complicada logística para acceder a los lagos de montaña, los métodos y los materiales para hacer frente los muestreos directos de electropesca fueron diferentes. El equipo de pesca utilizado fue el Hans-Grassl GmbH EL 60 II GI (1,3 kW), un motor portátil de explosión portado por un técnico, para realizar los transectos de pesca en zonas vadeables de orilla.

La forma de proceder consiste en realizar transectos paralelos a la orilla, de los que se anotan las coordenadas y hora de inicio y fin, en los que se van recogiendo los peces que son atraídos a los ánodos. Una vez finalizado el transecto, se procesan los peces capturados. Para el cálculo de capturas por unidad de esfuerzo, la unidad estándar de esfuerzo que se aplica es de 100 metros de orilla. Los muestreos de pesca eléctrica se realizan preferentemente durante el atardecer.



**Figura 9.** Equipo de electropesca desde embarcación en el embalse de Bachimaña Alto

### 3.4. INTERPOLACIÓN ESPACIAL Y ESTIMACIONES GLOBALES

Para presentar los resultados obtenidos, todas las posiciones contenidas en los ficheros tienen que convertirse a UTM en datum ETRS89 Huso 31. Todos los mapas e ilustraciones que se incluyen en el presente Estudio se han representado en este sistema de referencia.

El embalse se ha dividido en estratos coherentes de profundidad, que han sido debidamente cubiertos mediante el modelo batimétrico digital. Esta estratificación se ha efectuado considerando los registros verticales de temperatura y oxígeno disuelto y de la penetración de la luz, obtenidos durante el muestreo, así como criterios relativos a la orientación del transductor y a la coherencia del haz acústico en horizontal.

Para cada estrato se ha realizado una interpolación espacial utilizando métodos geoestadísticos ajustados *ex profeso*, siguiendo las buenas prácticas en investigaciones de pesquerías.

Para ello en primer lugar se ha ajustado una curva al semivariograma (ver ejemplo en la Figura 10) y en base a ese modelo, se ha procedido al interpolado propiamente dicho mediante *kriging* ordinario. Con ello se obtiene una superficie continua de densidad o biomasa que permite,

además de visualizar las zonas de mayor concentración de peces, realizar estimaciones poblacionales.

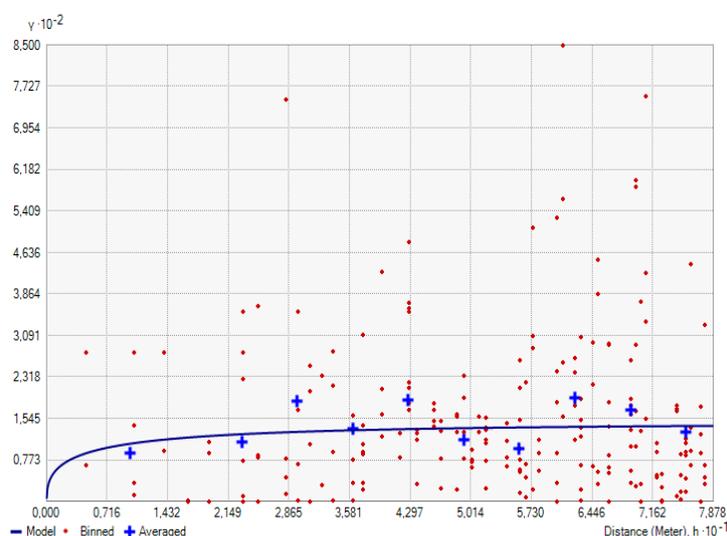


Figura 10. Ejemplo de ajuste de curva al semivariograma para el interpolado espacial

El interpolado se realiza independientemente para cada estrato considerado, que se han nombrado utilizando la siguiente nomenclatura internacional:

- Upper Open Water (UOW): Estrato superior
- Middle Open Water (MOW): Estrato intermedio
- Lower Open Water (LOW): Estrato inferior

### 3.5. EVALUACIÓN SEGÚN EL ÍNDICE BIÓTICO QFBI

No existe en la actualidad un método oficial de evaluación del potencial ecológico de los embalses basado en el bioindicador peces. No obstante, se dispone de un índice biótico de calidad desarrollado previamente dentro del proyecto de I+D+i del MARM “Investigación de la respuesta hidroacústica específica y desarrollo de métodos para la evaluación cuantitativa de las comunidades de peces y del potencial ecológico en embalses” (Expte.: 082/RN08/01.1), coordinado por Ecohydros. Su cálculo puede tener interés a efectos de comparar sintéticamente la calidad entre los diferentes embalses según la composición y biomasa de las biocenosis de peces.

Esta aproximación a un índice de calidad basado en los peces se denominó QFBI (*Quantitative Fish Biotic Index*). Para su desarrollo se siguió una metodología en la línea de la adoptada por el grupo europeo de intercalibración y que consiste en emplear como variable

dependiente una medida del grado de presión al que está sometido el embalse (*Global Pressure Index*) y como variables independientes las métricas calculadas a partir de los datos cuantitativos de peces.

Mediante regresión logística (*stepwise*) se seleccionaron cinco métricas que combinadas generan el valor del QFBI. En la tabla siguiente se presentan las métricas empleadas y los coeficientes de la ecuación.

**Tabla 3.** Métricas y coeficientes para el cálculo del QFBI

Métrica	Variable	Descripción	Coefficiente
		Término independiente	-2,31
M1	LOG_BIO	Logaritmo de la biomasa total del embalse expresada en g/ha	0,94
M2	LOG_BIO_native	Logaritmo de la biomasa de especies autóctonas del embalse expresada en g/ha	-1,49
M3	LOG_%_BIO_PISC_Exotic	Logaritmo del porcentaje en biomasa de especies exóticas piscívoras	6,50
M4	LOG_BIO_PISC_Exotic	Logaritmo de la biomasa de especies exóticas piscívoras expresada en g/ha	0,27
M5	LOG_BIO_ciprin_native	Logaritmo de la biomasa de ciprínidos autóctonos expresada en g/ha	0,79

O lo que es lo mismo, expresado en forma de ecuación:

$$QFBI = -2,31 + 0,94 \times M1 - 1,49 \times M2 + 6,5 \times M3 + 0,27 \times M4 + 0,79 \times M5$$

Una de las cuestiones más delicadas en la evaluación de la calidad es la fijación de los valores de corte entre clases, y principalmente el valor que separa el potencial moderado del bueno. En esta primera versión se han empleado los siguientes valores de corte:

**Tabla 4.** Valores de corte del QFBI empleados para la clasificación del potencial ecológico

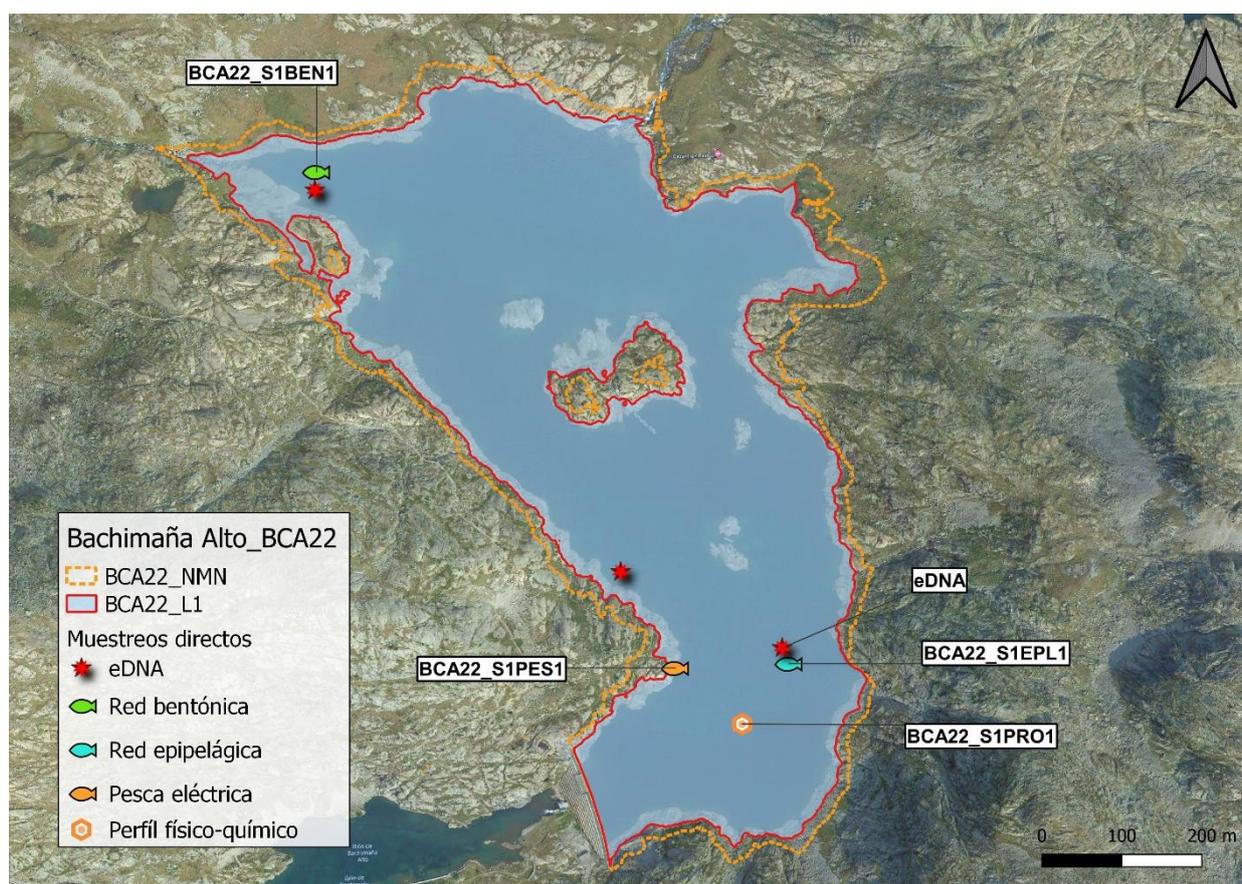
Clase	1	2	3	4	5
Potencial	Óptimo	Bueno	Moderado	Deficiente	Malo
QFBI		-1	0,2	1,6	2,3

### 3.6. DETECCIÓN DE TRUCHA COMÚN Y ANGUILA EUROPEA MEDIANTE ADN AMBIENTAL

#### 3.6.1. Muestreo de ADN ambiental (eDNA)

Para la detección de trucha común (*Salmo trutta fario*) y de anguila (*Anguilla anguilla*) se tomaron 3 muestras de 1L de agua en otras tantas estaciones de muestreo. En una de esas estaciones (punto más profundo) las muestras se tomaron en 3 profundidades diferentes repartidas en la columna de agua. En las otras dos estaciones las 3 muestras se tomaron en superficie a lo largo de la zona cubierta por el muestreo con red o con electropesca.

En la Figura 12, se representa la ubicación de las redes agalleras de diferente tipo utilizadas en el muestreo directo de peces, así como los recorridos de pesca eléctrica y los puntos de registro físico-químico y de muestreo de eDNA.



**Figura 11.** Ubicación de las estaciones de muestreo directo de diferente tipo en Bachimaña Alto

### **3.6.2. Obtención de ADN ambiental de trucha común y de anguila en muestras de agua**

Para aislar el ADN presente en el agua del embalse se filtraron las muestras con bombas de presión negativa y filtros de 0,2 micras de poro, en condiciones de esterilidad y bajo estrictos controles para evitar posibles contaminaciones de las muestras. Así pues, las muestras se filtraron en un laboratorio aislado y todos los materiales que no fueran desechables se esterilizaron entre cada una de las muestras.

La extracción de ADN se realizó en cabina de flujo laminar con luz ultravioleta (UV), empleando el kit para muestras de agua “*DNeasy Power Water Kit*” de Qiagen. Una vez aislado el ADN de las muestras ambientales, las extracciones se conservaron congeladas (-20°C) hasta su posterior análisis.

Antes de proceder con los análisis específicos de detección de trucha común y de anguila, fue preciso confirmar la calidad e integridad de las muestras. Para ello, el ADN ambiental aislado se amplificó con un cebador genético universal del gen ribosomal 18S. Esto permite por un lado confirmar la presencia de ADN en las muestras, ya que este cebador amplifica multitud de organismos, y por otro lado descartar la presencia de inhibidores de la amplificación por PCR, comunes en las muestras ambientales.

La detección del cebador universal del gen ribosomal se realizó en un termociclador de PCR convencional modelo *Verity Blue* (*Life Technologies, Inc., Applied Biosystems, Carlsbad, CA, USA*). Las detecciones tanto de trucha común como de anguila europea se realizaron mediante PCR cuantitativa (qPCR) en un termociclador *7,900 HT Fast Real- Time PCR System* (*Life Technologies, Inc., Applied Biosystems, Carlsbad, CA, USA*). Todas las amplificaciones se replicaron en el laboratorio, repitiendo los análisis en ocasiones diferentes, correspondientes a días distintos, para asegurar la consistencia y fiabilidad de los datos.

### **3.6.3. Detección específica de trucha común**

Para la detección de trucha común se utilizó un cebador específico y una sonda *TaqMan MGB* (Gustavson *et al.*, 2015, siguiendo las recomendaciones de Fernández *et al* 2018). El cebador específico de *Salmo trutta* se une y amplifica únicamente el ADN de trucha común, no de otros organismos ni de otras especies de trucha. Si en la muestra ambiental no hay ADN de *Salmo trutta*, no habrá amplificación, ni por tanto señal, ya que la sonda no emitirá fluorescencia.

Cuando se produce amplificación, porque hay coincidencia del código de los cebadores (o *primers*) con el del ADN de la muestra, se libera un extremo de la sonda, que pasa a emitir fluorescencia. Con ello es posible detectar, mediante la lectura de fluorescencia, la presencia de la especie y adicionalmente, mediante una serie de cálculos, la cantidad de ADN de trucha presente en la muestra.

#### **3.6.4. Detección específica de anguila europea**

Para la detección de anguila europea se utilizó un cebador específico de desarrollo propio de Ecohydros. El cebador específico de *Anguilla anguilla* funciona de la misma forma que el previamente descrito para *Salmo trutta*; se une y amplifica únicamente el ADN de anguila, pero no el de otros organismos.

#### **3.6.5. Estimaciones de biomasa**

La metodología de PCR cuantitativa (qPCR) permite estimar la cantidad de ADN de la muestra a través de cálculos derivados del número de moléculas presentes en la muestra ambiental analizada, y de su composición molecular.

Se calculó una recta patrón de diluciones seriadas del producto de PCR con amplicones del fragmento específico del cebador utilizado para la detección de la especie. Para poder obtener dicha recta patrón, se cuantificó mediante fluorimetría la concentración de ADN disponible en el producto de PCR a utilizar. Después se analizó el genoma de la especie y se encontró la secuencia de los cebadores para poder discernir el número de bases que existían entre ellos. Posteriormente se calculó el número de copias de ADN que corresponden un determinado número de ciclos de amplificación.

Todos los ensayos realizados con los amplicones y con tejido de trucha y anguila se realizaron por separado, en una sala de laboratorio diferente, aislados de las muestras ambientales, para evitar cualquier posible contaminación cruzada.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. BATIMETRÍA

Durante los muestreos en el Ibón de Bachimaña Alto se aumentó el esfuerzo del sondeo acústico para obtener un mayor número de celdas con información batimétrica del fondo del embalse.

A partir de los sondeos acústicos descritos se ha extraído la profundidad del fondo en cada punto (unos 8 puntos por metro, en el sentido de avance de la embarcación) y los puntos se han integrado con los del vuelo LiDAR del PNOA (fecha de 16/01/2021). Los puntos se han interpolado espacialmente para obtener un modelo digital de elevaciones desde la cota de máximo nivel de embalse (NMN) de 2.199 msnm, hasta la mínima cota registrada en el sondeo (2.159,80 msnm). Hay que dejar constancia de que la cota nominal de NMN era de 2.205,4 msnm lo que implica una diferencia de 6,4 m respecto a la inferida del vuelo LiDAR.

A partir del modelo digital obtenido se ha generado una curva hipsométrica con incrementos de cota de 0,1 m y se ha ajustado una función polinómica (Figura 12).

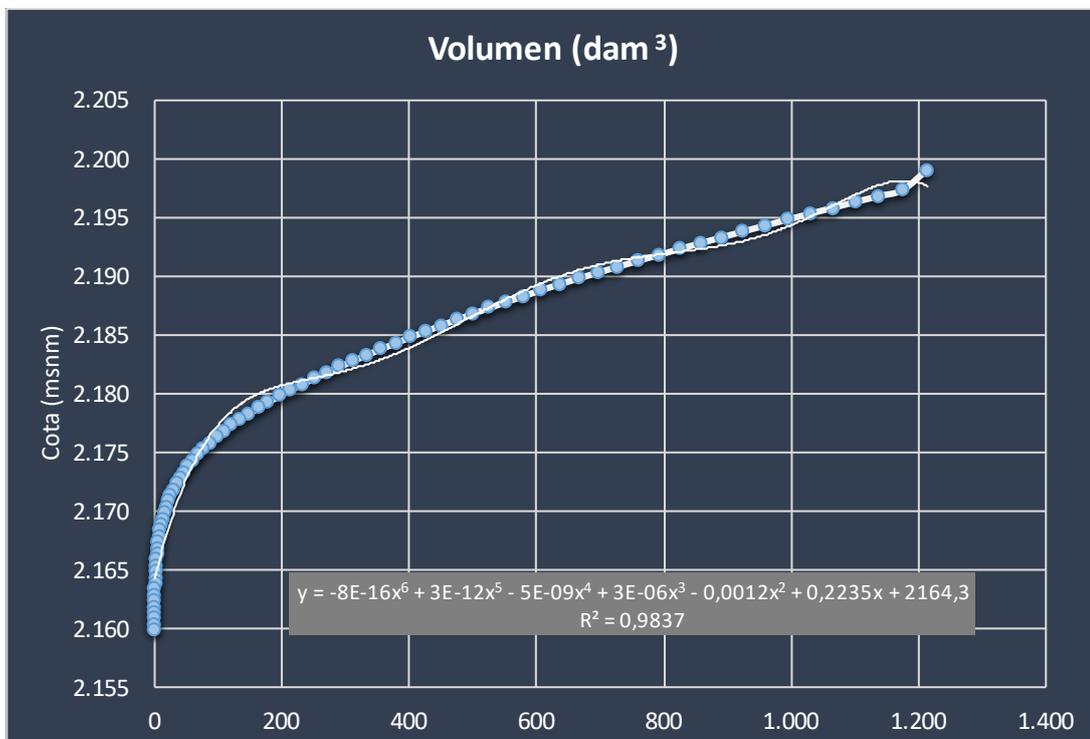


Figura 12. Curva hipsométrica obtenida con el nuevo MDT del Ibón de Bachimaña Alto

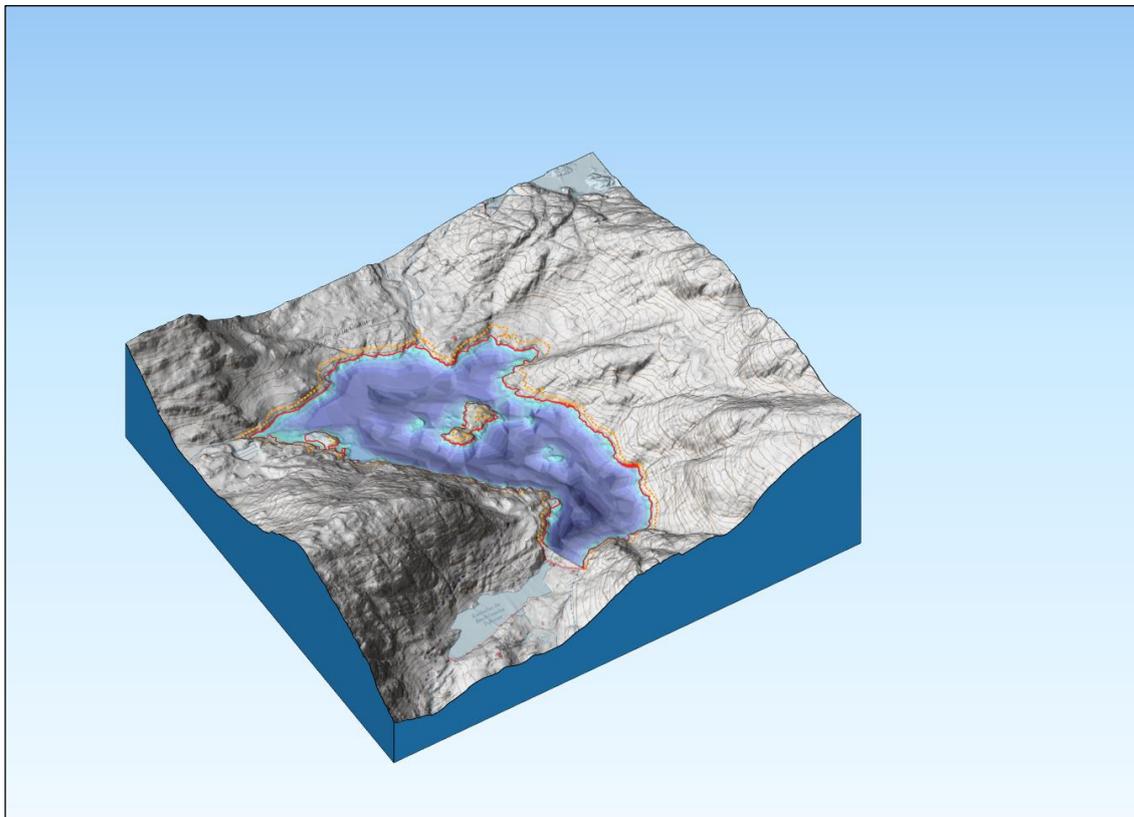
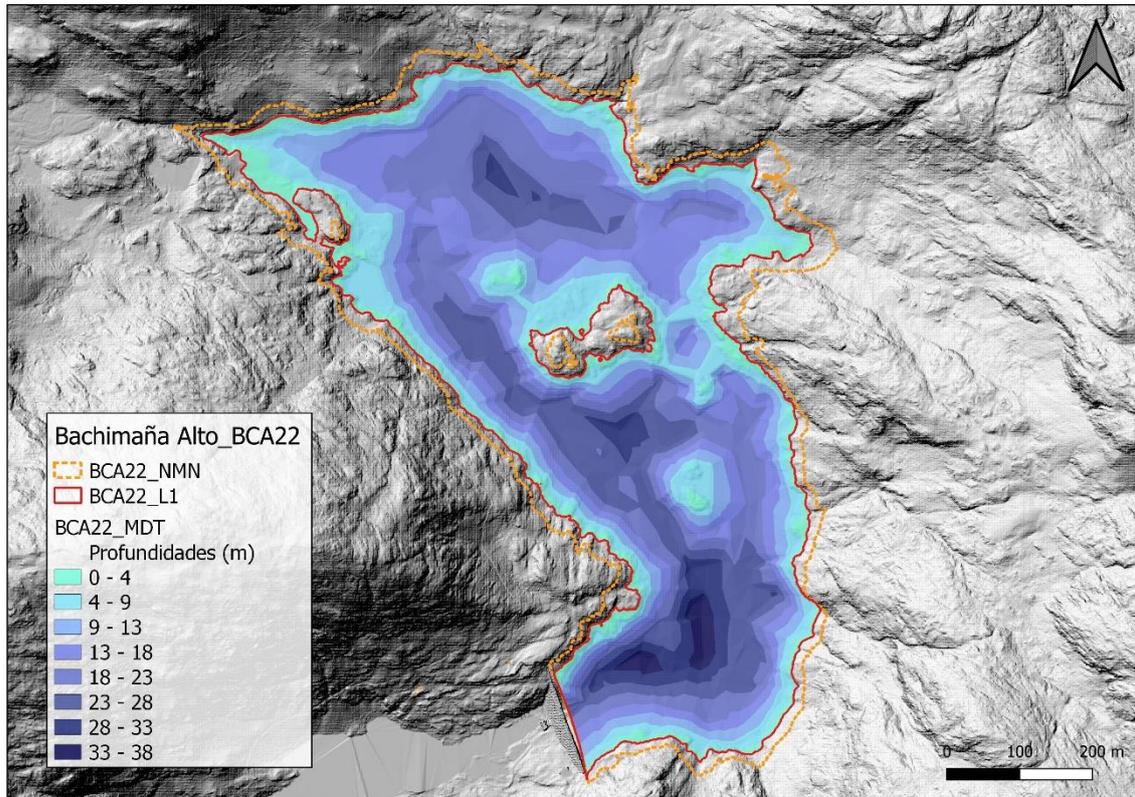
La profundidad máxima en situación de máximo nivel de embalse es de 39,2 m, y durante el muestreo esa profundidad máxima fue de 37,5 m puesto que el embalse estaba 1,7 m por debajo del NMN. El volumen en máximo llenado se estima en 6,53 hm<sup>3</sup>, frente a los 7 hm<sup>3</sup> nominales.

A partir del nuevo MDT del embalse se han calculado una serie de indicadores morfométricos (Tabla 5) que reflejan en su conjunto un embalse de morfología glaciaria, con un índice de alargamiento superior al promedio de los lagos de la cuenca del Gállego y con un desarrollo de costa (calculado como  $DI = P/2\sqrt{\pi A}$ ) que determina una morfología subrectangular, es decir, algo menos circular que un lago glaciario típico de los Pirineos.

**Tabla 5.** Valores de diferentes índices morfométricos en el embalse de Bachimaña Alto a partir del nuevo MDT

Índice	Unidad	Valor
Cota NMN nominal	msnm	2.159,8
Cota NMN actual	msnm	2.199,0
Volumen NMN nominal (Vmax)	hm <sup>3</sup>	7,000
Volumen NMN actual (Vmax_2022)	hm <sup>3</sup>	6,528
Superficie NMN (Amax)	ha	40,00
Profundidad máxima (Zmax)	m	38,4
Profundidad media (Zm)	m	16,3
Relación Zm/Zmax		0,42
Perímetro (P)	m	4.937
Longitud máxima (L)	m	1.170
Ancho medio (W)	m	341,9
Índice de alargamiento (L/W)		3,4
Índice de desarrollo de costa (DI)		2,2

En la figura siguiente se aprecia que el embalse mantiene la morfología original de un lago glaciario, con una cubeta plana pero formado por tres depresiones menores separadas por dos islas. En la Figura 13 se representa el contorno del nivel del embalse durante el muestreo (BCA22\_L1) y el del NMN (BCA22\_NMN).

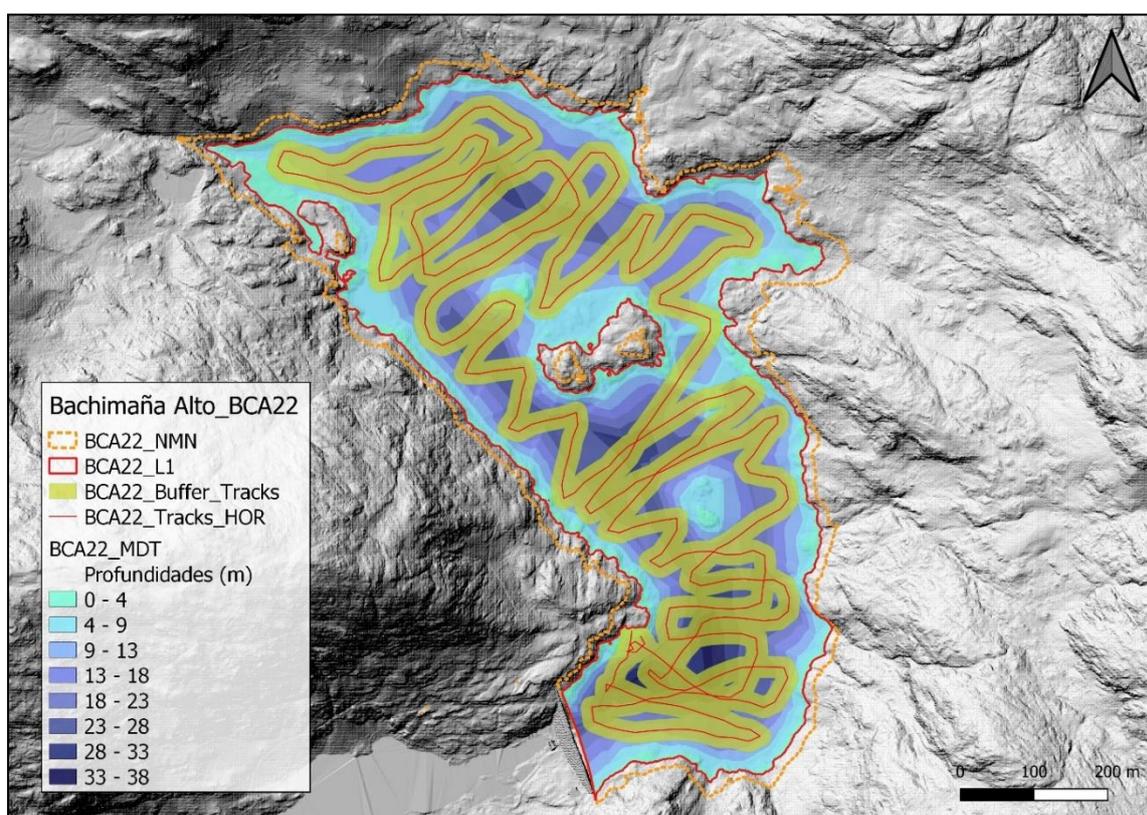


**Figura 13.** Representaciones de la batimetría del Ibón de Bachimaña Alto. Fuente: Elaboración propia.

## 4.2. SONDEO HIDROACÚSTICO: DENSIDADES

Los recorridos móviles de ecosondeo han cubierto una longitud total de 9,3 km (con dos transductores), lo que supone un valor del índice de cobertura (Da) de 15. Los recorridos completos sobre el mapa batimétrico se presentan en la Figura 14. Obsérvese que los recorridos realizados se circunscriben al contorno del agua (rojo) correspondiente con el día de muestreo.

Mediante el método descrito, se ha obtenido una estimación de densidad en celdas de 50 m y también la talla acústica corregida de cada uno de los blancos y rastros ("tracks") de peces.



**Figura 14.** Recorridos del sondeo hidroacústico en el Ibón de Bachimaña Alto

En la Figura 15 se muestra un ejemplo de ecograma durante el muestreo acústico en el Ibón de Bachimaña Alto, realizado con haz vertical en una zona de hasta 18 metros de profundidad (escala verde en el eje vertical, a la derecha del gráfico). Se aprecia claramente una señal en la zona central del ecograma a unos 14 m de profundidad, que corresponde a un pez de dimensiones superiores a la talla máxima de los piscardos, por lo que se puede deducir que se trata de una trucha.

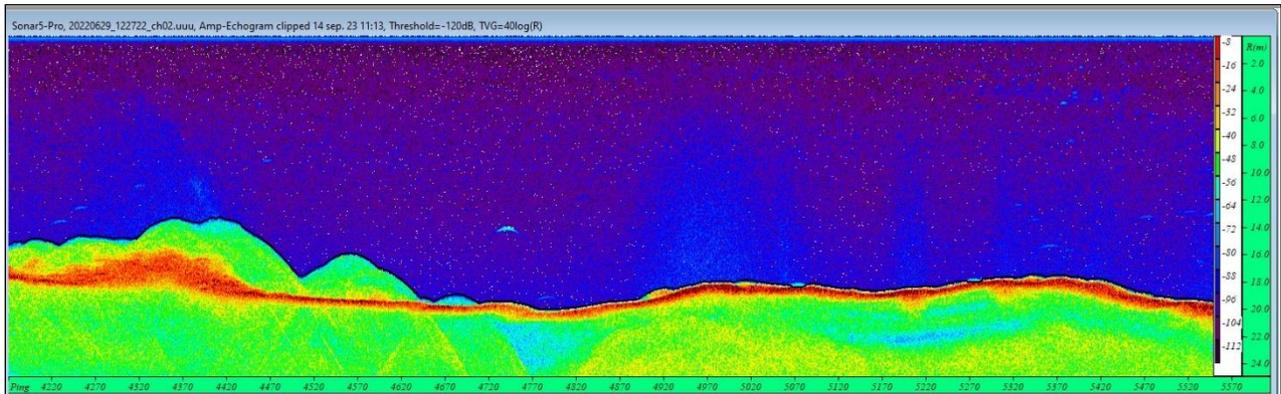


Figura 15. Ejemplo de un ecograma obtenido con el haz vertical en el embalse de Bachimaña Alto

#### 4.2.1. Distribución y estimación de la densidad de peces

En la Tabla 6 se ofrecen los estadísticos descriptivos del estrato, en el que solo se ha tenido en cuenta el ecosondeo horizontal, debido a la escasa profundidad del embalse. La densidad se ha expresado en individuos por decámetro cúbico ( $1 \text{ dam}^3 = 1.000 \text{ m}^3$ ).

Tabla 6. Densidad de peces (ind/dam<sup>3</sup>) por estratos, estimada mediante acústica

Embalse	Sector	Estrato	Densidad media (ind/1000m <sup>3</sup> )	Densidad máxima (ind/1000m <sup>3</sup> )	Número de casos	Número de casos con valor 0	Desviación típica
BCA22	1	L1	0,61	6,5	186	57	6,0
		L2	0,02	0,7	146	141	0,1

No obstante, hay una población abundante de piscardos que no se puede estimar con la acústica porque durante el día se distribuyen en zonas rocosas muy someras a las que no puede alcanzar con suficiente nitidez el haz acústico. El comportamiento reproductor de esta especie, que está en periodo álgido en las fechas del muestreo, condiciona sobremanera la eficiencia de esta técnica cuantitativa de muestreo, y a juzgar por los resultados de las pescas (como se comenta más adelante) la densidad de esta especie en la globalidad de la masa de agua es muy superior a esta cifra.

Por esta razón, en este caso se complementa la estimación mediante hidroacústica con una estimación de esa fracción de la población mediante un método de cálculo diferente, que aplica la pendiente de la relación lineal entre las CPUE y las densidades obtenidas en embalses de la misma tipología y biocenosis (ibones y embalses de montaña con trucha común y piscardo). El

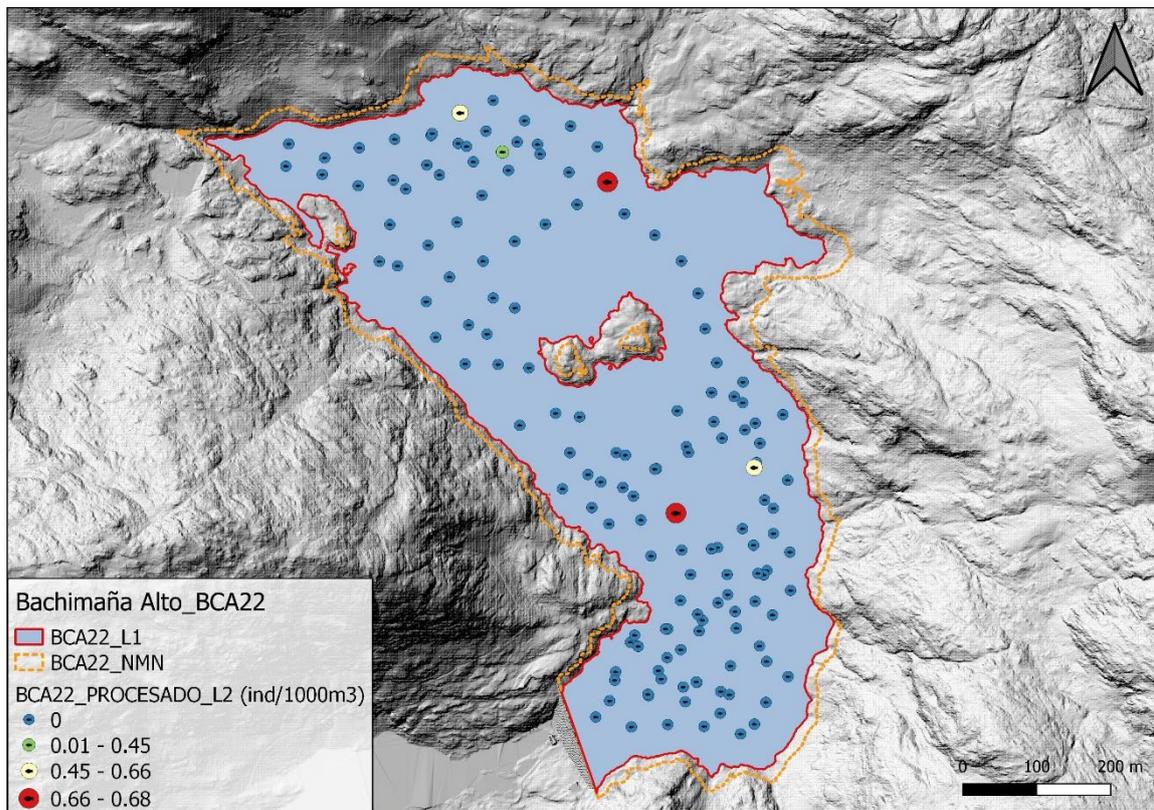
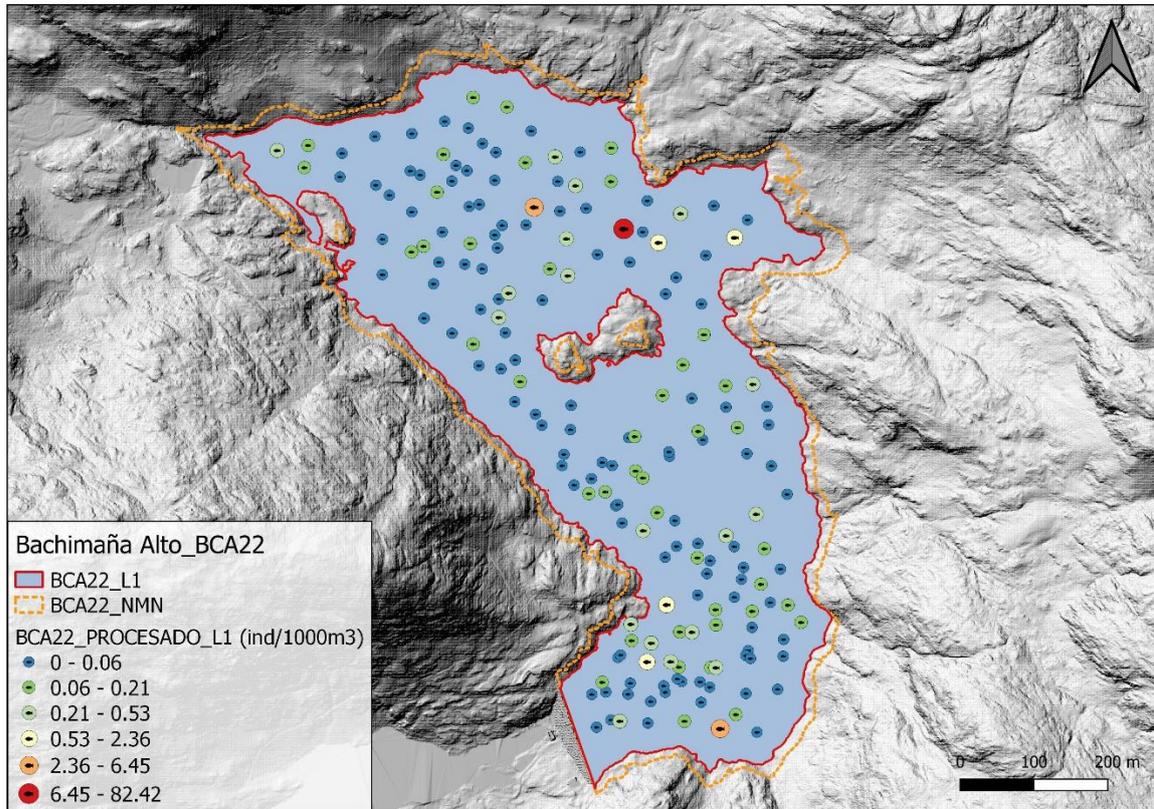


resultado en este caso ofrece una **estimación de 13,01 ind/dam<sup>3</sup> para el conjunto del embalse.**

En las figuras siguientes se presenta la disposición geográfica de las celdas de análisis para cada uno de los estratos y se representa mediante símbolos graduados la densidad de cada celda de análisis.

Se ha empleado el método de *Jenks "Natural breaks optimization"* para establecer los valores de corte de los datos de densidad. Es un método de agrupamiento de datos diseñado para determinar la mejor disposición de valores en diferentes clases. El método busca reducir la varianza dentro de las clases y maximizar la varianza entre las clases. Por ello, las clases de valores obtenidas pueden ser diferentes para cada grupo de casos (estratos).

Se aprecia que las celdas con densidades más altas se ubican preferentemente en zonas someras (L1) de la parte posterior del embalse. Sin embargo, en el estrato inferior (L2) son menos abundantes las celdas con peces, y los valores de densidad son inferiores en un orden de magnitud a los del estrato superficial.



**Figura 16.** Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la densidad de peces en los estratos superior (arriba) e inferior (abajo)

#### **4.2.2. Comparativa con otros embalses de la cuenca del Ebro**

En el diagrama de barras siguiente se presentan los resultados de densidad obtenidos en el embalse de Bachimaña Alto, en comparación con otros embalses de la cuenca del Ebro donde se ha trabajado con técnicas hidroacústicas y se dispone de datos cuantitativos. La línea roja representa el valor promedio de los embalses considerados, en la que el embalse de Utchesa Seca constituye un extremo, muy separado del resto por el lado superior de la distribución.

El valor incorporado en esta comparación es el de densidad aumentada con la estimación de las poblaciones de piscardo esquivas al sondeo acústico, tal y como se ha descrito en el apartado anterior. Se aprecia que el embalse de Bachimaña Alto se ubica ligeramente por encima de la media del conjunto de 55 embalses del mencionado gráfico.



Densidad (ind/1000m<sup>3</sup>)

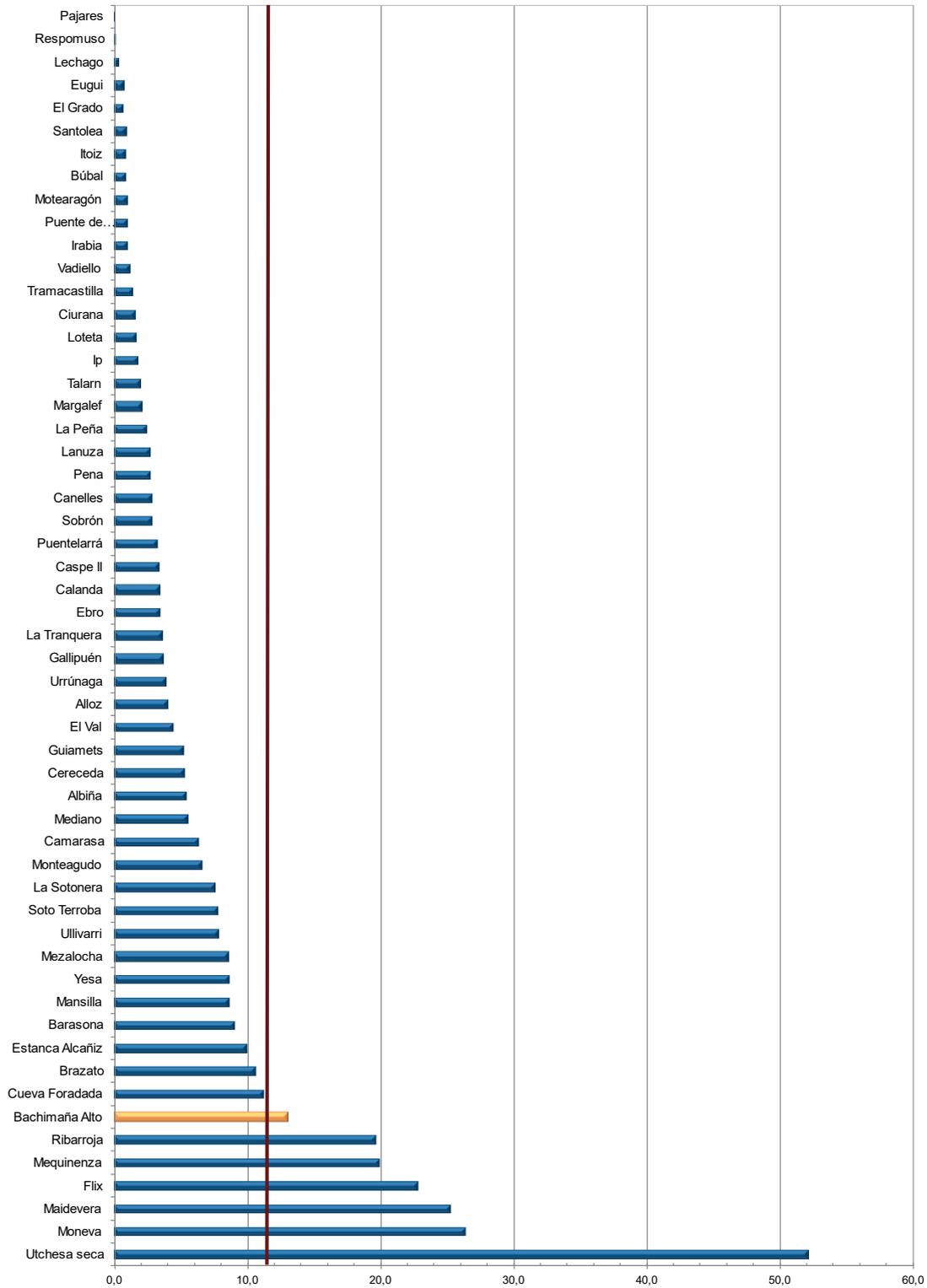


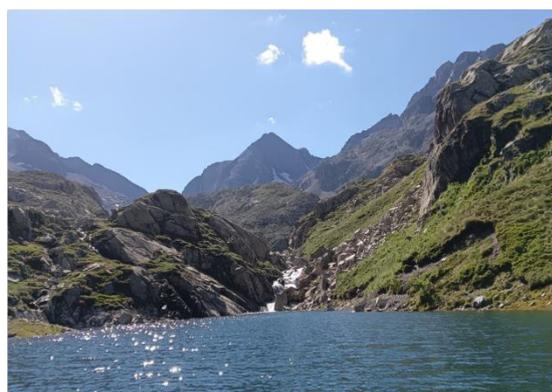
Figura 17. Comparación de la densidad con otros embalses de la cuenca del Ebro

#### 4.3. MUESTREOS DIRECTOS: COMPOSICIÓN Y BIOMASA ESPECÍFICA

Los muestreos directos se han realizado mediante pesca con redes agalleras multipaño según se describen en la norma CEN 14.757 y mediante pesca eléctrica desde embarcación en las zonas litorales someras.



Embarcación de hidroacústica durante la navegación



Recula en la cola del ibón



Toma de datos físico-químicos



Ubicación de la red epipelágica en el vaso principal



Bancos de piscardos (*Phoxinus phoxinus*) capturados en red



Técnicos recogiendo red epipelágica desde embarcación

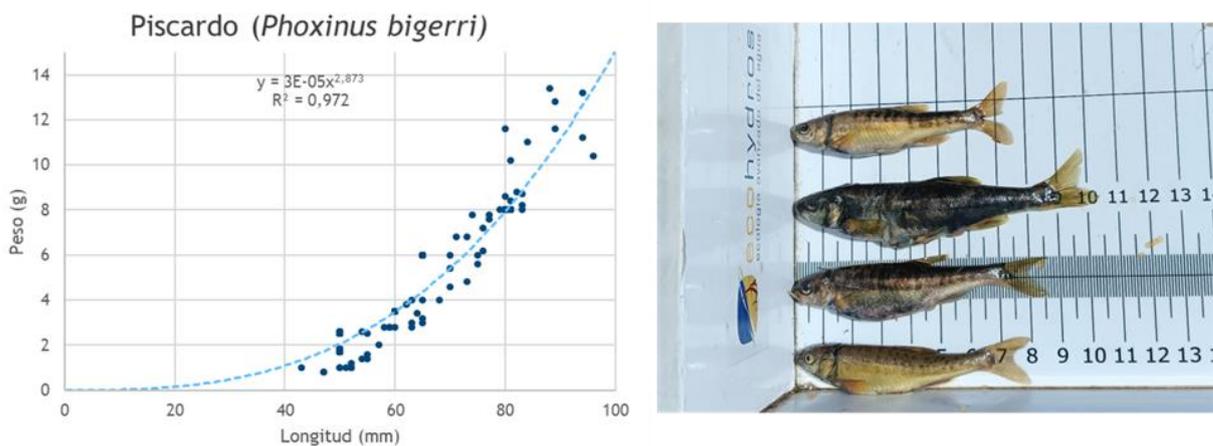
**Figura 18.** Fotografías de las labores de muestreo en el embalse de Bachimaña Alto

#### 4.3.1. Especies presentes en el embalse

Mediante muestreos directos solamente se capturó una especie en el embalse. Se trata de del piscardo, especie autóctona en la DHE, pero introducida en este embalse. Las grandes cantidades detectadas de piscardo evidencian una débil población de depredadores, en este caso de trucha común (*Salmo trutta fario*) y una alta disponibilidad de recursos tróficos y hábitat para la reproducción.

**Tabla 7.** Especies presentes en el embalse

Nombre científico	Nombre común	Autóctono/alóctono
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Piscardo	Autóctono



**Figura 19.** Ejemplares de *Phoxinus phoxinus* capturados en el embalse de Bachimaña Alto y su curva de longitud/peso.

De hecho, se ha constatado que durante la época del muestreo (segunda quincena de junio) esta especie está en pleno proceso reproductor, habiéndose capturado numerosas hembras en fase última de gravidez y machos fluyentes, con tallas y pesos considerables para esta especie.

#### 4.3.2. Composición y distribución de especies

##### Capturas con redes

El total de capturas con redes agalleras fue de 1.080 ejemplares, con un peso total de 5,5 kg, lo que supone 592 CPUE (ejemplares capturados por unidad de esfuerzo) y 3 kg de biomasa por unidad de esfuerzo. Se emplearon un total de 2 redes en 17 horas de pesca (9,4 unidades de esfuerzo). En la Figura 11, se representa la ubicación de las redes de muestreo y los recorridos de pesca eléctrica.

**Tabla 8.** Ejemplos de las redes utilizadas durante los muestreos directos en Bachimaña Alto

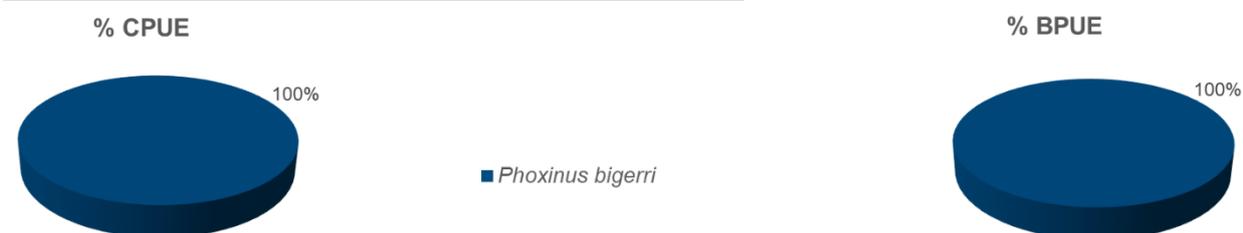
Tipo de lance	Código	Número de paños	Longitud (m)	Altura (m)	Esfuerzo
Red bentónica	BCA22_S1BEN1	16	40	1,5	1,81 45m <sup>2</sup> /12h
Red epipelágica	BCA22_S1EPL1	16	40	6	7,63 45m <sup>2</sup> /12h

En la Tabla 9 y en la Figura 20 se facilitan los resultados obtenidos de las redes, agregados por especies y para cada uno de los estratos del embalse.

Los términos empleados para describir la asociación de peces del embalse se describen en el Glosario al final del documento.

**Tabla 9.** Resultados de las pescas con red por especies

	Capturas	CPUE (ind/ud. esf.)	CPUE (%)	Biomasa (g)	BPUE (g/ud. esf.)	BPUE (%)	Longitud furcal media (mm)	Peso medio (g)
<i>Phoxinus phoxinus</i>	1.080	592	100,0	5.464	2.996	100,0	67	5
<b>Total</b>	<b>1.080</b>	<b>592</b>	<b>100,0</b>	<b>5.464</b>	<b>2.996</b>	<b>100,0</b>	<b>67</b>	<b>5</b>



**Figura 20.** Composición de la asociación obtenida mediante redes

Los valores de CPUE son muy elevados e indican la existencia de una nutrida población de piscardos, con tallas elevadas y en fase álgida de reproducción, observándose conspicuos tubérculos nupciales en el hocico de los machos. Como se refleja en la Figura 21, las redes salían con abundante material sedimentante, que debe estar asociado a una producción fitoplanctónica más alta de lo esperado en este tipo de masa de agua, observación reforzada por el color verdoso de sus aguas.



**Figura 21.** Recogida de red pelágica en la zona anterior del embalse de Bachimaña Alto

### Resultados de la pesca eléctrica

El rendimiento de la pesca eléctrica fue inferior al de las redes, con una captura total de 66 peces con un peso total de 0,2 kilos, lo que supone 36,6 CPUE (ejemplares capturados por unidad de esfuerzo) y 0,11 kg de BPUE. Dadas las condiciones de las orillas del embalse, tan sólo se realizó un único transecto de pesca eléctrica en orilla, en las proximidades de la zona de acceso.

**Tabla 10.** Tracks de pesca eléctrica realizados durante los muestreos directos en Bachimaña Alto.

Tipo de lance	Código	Esfuerzo
Pesca eléctrica	BCA22_S1PES1	30 m

La ubicación de los transectos de muestreo de electropesca se puede observar en el mapa de la Figura 11 y en el boletín de campo del Anexo I, donde se presenta además la ubicación de las redes.

En la tabla siguiente se facilitan los resultados obtenidos, agregados por especies. Al igual que ocurrió con las capturas con las redes agalleras, tan sólo se capturaron piscardos.

**Tabla 11.** Resultados de la pesca eléctrica por especies

	Capturas	CPUE (ind/ud. esf.)	% CPUE	Biomasa (g)	BPUE (g/ud. esf.)	% BPUE	Longitud furcal media (mm)	Peso medio (g)
<i>Phoxinus bigerri</i>	66	36,6	100,0	199	110,2	100,0	53	3
<b>Total</b>	<b>66</b>	<b>36,6</b>	<b>100,0</b>	<b>199</b>	<b>110,2</b>	<b>100,0</b>	<b>53</b>	<b>3</b>



**Figura 22.** Composición de la asociación obtenida mediante pesca eléctrica

## 4.4. BIOMASA

### 4.4.1. Distribución y estimación de la biomasa de peces

A partir de los datos obtenidos mediante las dos técnicas de prospección (hidroacústica y muestreo directo), se integran los resultados para obtener las estimaciones de densidad y biomasa por especies para el conjunto del embalse (Tabla 12).

**Tabla 12.** Biomasa de peces por estratos ( $\text{g/m}^2$ ) estimada mediante acústica

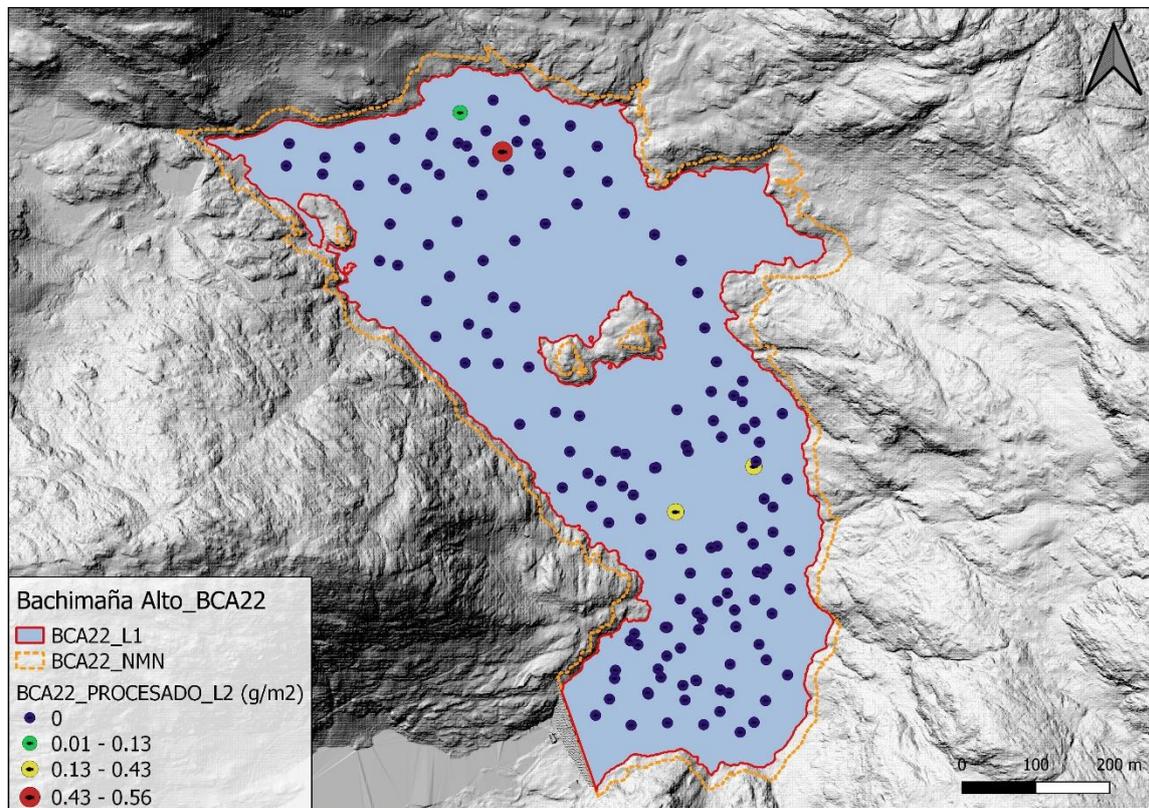
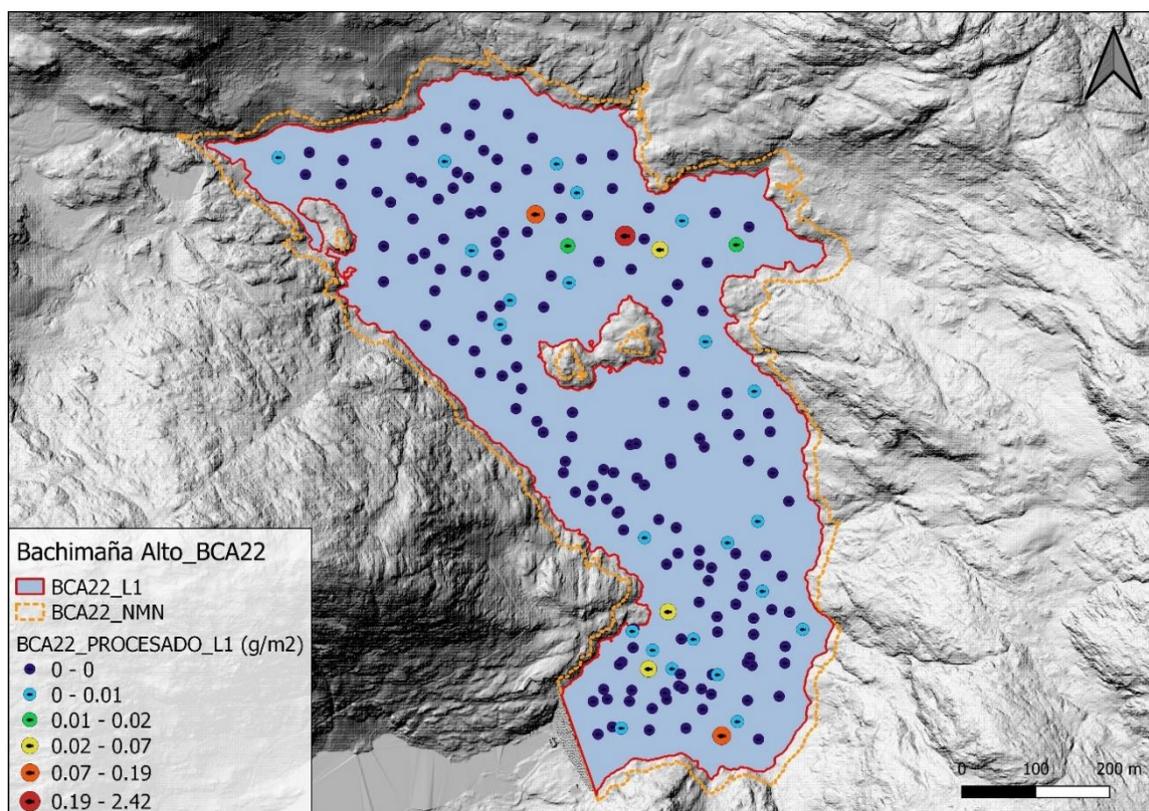
Embalse	Sector	Estrato	Biomasa media ( $\text{g/m}^2$ )	Biomasa máxima ( $\text{g/m}^2$ )	Número de casos	Número de casos con valor 0	Desviación típica
BCA22	1	1	0,02	2	186	155	0,18
		2	0,01	1	146	142	0,07

La biomasa media del embalse se calcula sumando las biomاسas de cada uno de los estratos y refiriéndolo a la superficie del embalse.

Como se comentó en el apartado 4.3., hay una población de piscardos que en este caso no se puede estimar con la acústica. Siguiendo el mismo método que el descrito para la densidad, se ha estimado de forma tentativa la biomasa de esa fracción de la población no sondeada. El resultado en este caso ofrece una **estimación de  $0,62 \text{ g/m}^2$  para el conjunto del embalse**, lo que implica una biomasa total de 230 kg.

En la Figura 23 se representa la distribución espacial de los valores de biomasa en las celdas de análisis para el único estrato considerado en este embalse. Al igual que en el caso de la densidad, se ha empleado el método de Jenks "*Natural breaks optimization*" para establecer los valores de corte de los datos de biomasa.

Se aprecia que abundan las celdas con valores nulos de biomasa, es decir sin peces. Todos los valores de biomasa en el estrato superficial (L1), excepto el máximo de  $2,42 \text{ g/m}^2$  corresponden a celdas con piscardos. En el estrato profundo de más de 5 m de profundidad (L2), todos los valores se asocian a celdas en las que se han detectado señales de tamaño compatible con truchas en el sondeo hidroacústico. El valor más alto del estrato se detectó en la zona posterior del embalse.



**Figura 23.** Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la biomasa de peces en los estratos superior (arriba) e inferior (abajo)

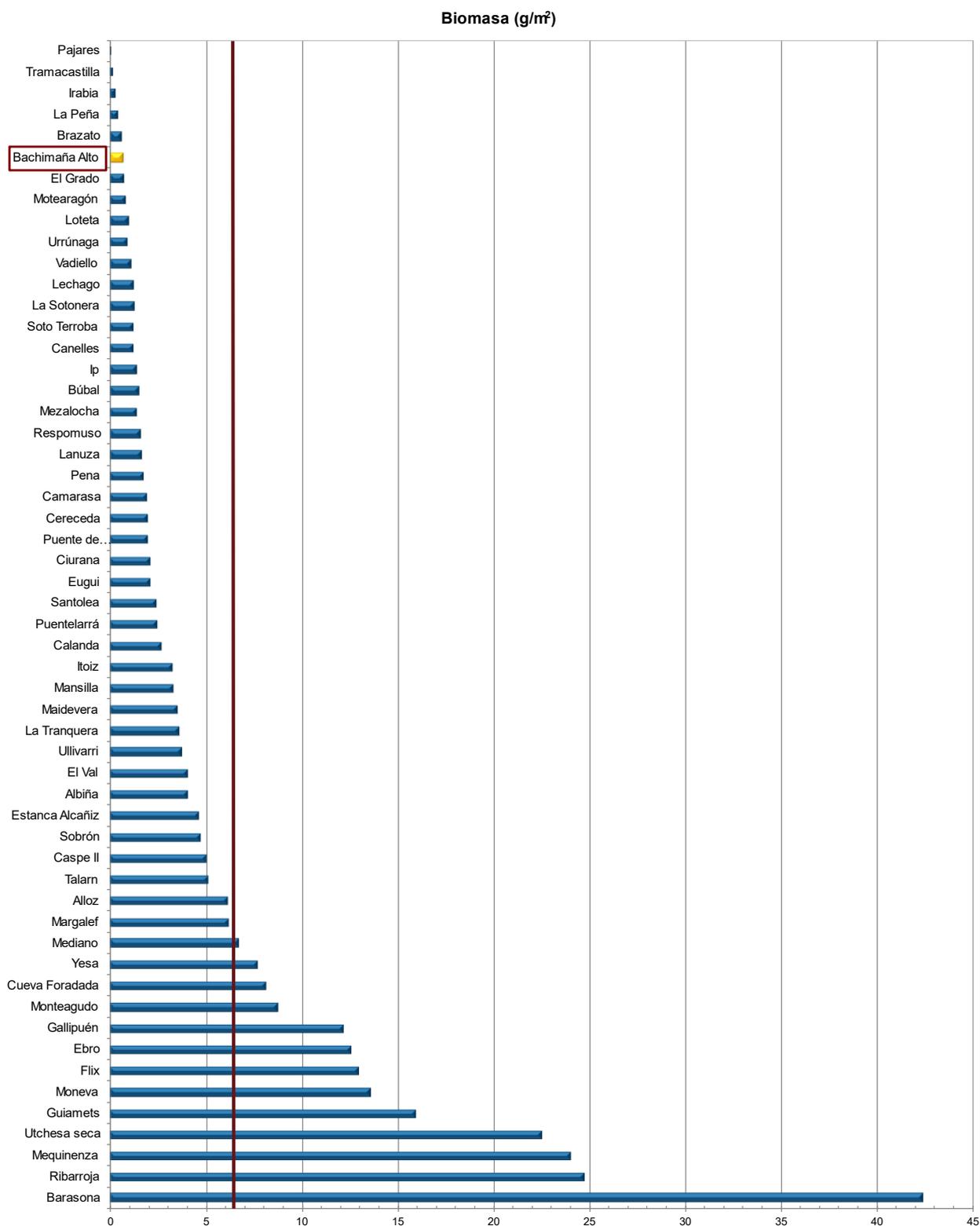
#### **4.4.2. Comparativa con otros embalses de la cuenca del Ebro**

En el diagrama de barras siguiente se presentan los resultados de biomasa obtenidos en el embalse de Bachimaña Alto, en comparación con otros embalses de la cuenca del Ebro cuyas poblaciones de peces se han evaluado con técnicas hidroacústicas y se dispone de datos cuantitativos de densidad y biomasa. La línea roja representa el valor promedio de los embalses considerados. Como puede apreciarse, la biomasa en este embalse presenta un valor por debajo de la media en el contexto de los embalses estudiados en la cuenca del Ebro.

No obstante, en este tipo de embalses hay zonas rocosas muy someras en las que los piscardos son muy abundantes y quedan fuera del rango útil del sondeo hidroacústico, por lo que los resultados cuantitativos expuestos en este informe excluyen las poblaciones de esas zonas y se refieren entonces a las aguas abiertas del embalse.

Para cuantificar esas poblaciones “ocultas” de piscardos se deberían realizar esfuerzos consecutivos de pesca sin devolución durante días alternos a lo largo de una semana entera. Hacer este esfuerzo solamente tiene sentido si se encuadra en una campaña de descaste de peces.

A efectos de adelantar un orden de magnitud mínimamente realista en este trabajo, se ha realizado una estimación apoyada en otros casos, como se ha explicado anteriormente. Si se toma ese resultado para realizar el ejercicio de comparación, el embalse de Bachimaña Alto estaría todavía en el rango inferior de biomasa de peces, debido a que las poblaciones están representadas casi exclusivamente por el piscardo, una especie de ciprínido de pequeña talla.



**Figura 24.** Comparación de la biomasa con otros embalses de la cuenca del Ebro

#### 4.5. DENSIDAD Y BIOMASA POR ESPECIES

Para ofrecer una estimación de las densidades y biomاسas por especies, se aplica la distribución de especies obtenidas mediante muestreo directo a las densidades y biomاسas obtenidas mediante acústica.

En la Tabla 13 se ha calculado la densidad y biomasa relativas por especie, referidas a volumen ( $\text{dam}^3$ ) y superficie ( $\text{m}^2$ ) respectivamente, para el conjunto del embalse.

**Tabla 13.** Densidades ( $\text{ind}/\text{dam}^3$ ) y biomاسas ( $\text{g}/\text{m}^2$ ) por especie

	Densidad media ( $\text{ind}/\text{dam}^3$ )	Abundancia (%)	Abundancia Total (ind)	Biomasa media ( $\text{g}/\text{m}^2$ )	Biomasa (%)	Peso total (kg)
<i>Salmo trutta fario</i>	0,002	0,0003%	13	0,01	1,6%	4
<i>Phoxinus phoxinus</i>	13,00	99,9997%	43.083	0,61	98,4%	226
<b>Total</b>	<b>13,01</b>	<b>100%</b>	<b>43.096</b>	<b>0,62</b>	<b>100%</b>	<b>230</b>

En este cuadro se resumen las observaciones ya expuestas en cuanto a la densidad y biomasa de las especies, así como su importancia relativa en la asociación de peces del embalse. En términos absolutos se estima una población de unos 43.000 individuos con una biomasa total de 230 kilogramos. Las truchas representan el 0,3‰ del total en número y el 1,6% en biomasa.

Estos valores absolutos deben usarse con cautela. Es más apropiado trabajar con los valores de densidad y biomasa por unidad de volumen y superficie (respectivamente), que permiten comparar diferentes sistemas.

## 4.6. MUESTREOS INDIRECTOS: ADN AMBIENTAL

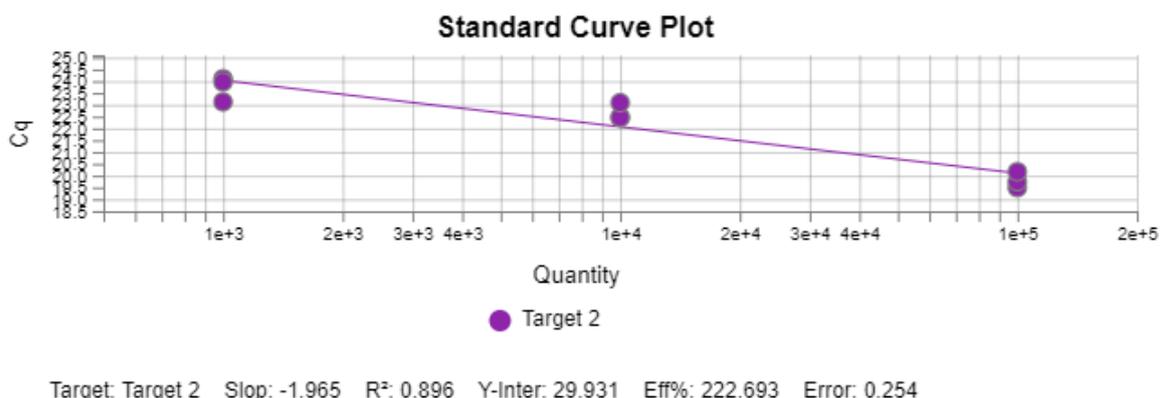
### 4.6.1. Muestras ambientales de agua

Los procesos de filtración de las muestras de agua y de extracción del ADN ambiental se completaron sin incidencias.

Todas las muestras de agua del embalse Bachimaña Alto pasaron los controles de calidad, amplificando con éxito el cebador universal, es decir, confirmando la existencia de ADN ambiental en las muestras y la ausencia de inhibidores de la PCR.

### 4.6.2. Detección de trucha común mediante qPCR y estimaciones de biomasa.

Se ha detectado ADN de trucha común en las muestras ambientales del Ibón de Bachimaña Alto. Se obtuvo una recta patrón con un buen ajuste ( $R^2 = 0,896$ ).



**Figura 25.** Recta patrón para la cuantificación de las muestras ambientales, representadas por los ciclos de amplificación (Ct) frente a la cantidad de ADN detectada

**Tabla 13.** Concentración de *Salmo trutta* en las muestras del embalse de Bachimaña Alto.

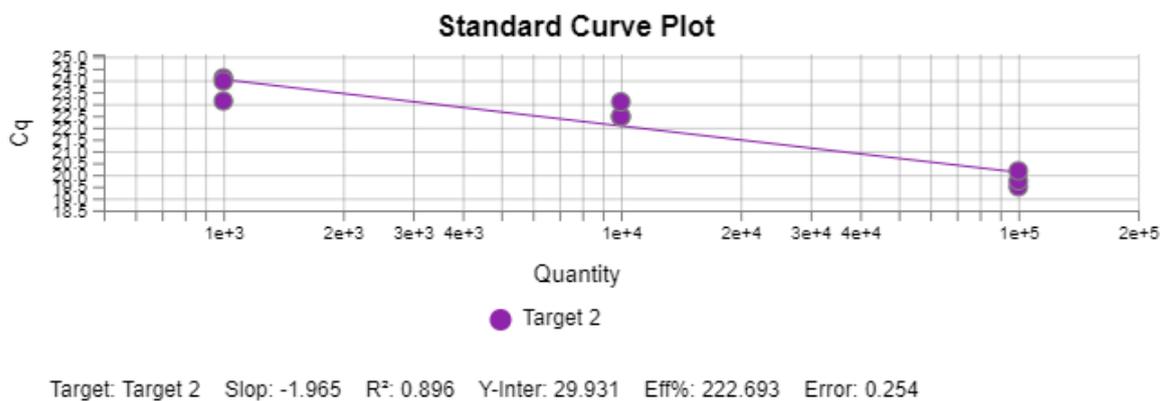
Código	Concentración (ng/μL)
BCA_E1_S	1.101
BCA_E1_M	2.118
BCA_E1_F	5.716
BCA_PES_1_1	3.119
BCA_PES_1_2	3.395
BCA_PES_1_3	2.805
BCA_BEN_1_1	3.170
BCA_BEN_1_2	2.913
BCA_BEN_1_3	3.298

Se ha utilizado un método específico de alta resolución basado en la detección genética mediante ADN ambiental de moléculas de ADN de trucha en agua, con el cual se ha podido confirmar la presencia de trucha común en el embalse de Bachimaña Alto.

Los resultados obtenidos mediante ADN ambiental demuestran que son técnicas más sensibles que los resultados obtenidos en los muestreos directos, ya que en éstos no se pudo capturar ningún ejemplar de esta especie.

#### 4.6.3. Detección de anguila europea mediante qPCR y estimaciones de biomasa.

Tras los análisis, ninguna muestra de ADN ambiental resultó positiva en ADN ambiental de anguila europea en el agua del embalse de Bachimaña Alto. Se obtuvo una recta patrón con un buen ajuste ( $R^2 = 0,896$ ).



**Figura 26.** Recta patrón para la cuantificación de las muestras ambientales, representadas por los ciclos de amplificación (Ct) frente a la cantidad de ADN

A pesar de haber utilizado un método específico de alta resolución basado en la detección genética mediante ADN ambiental, no se ha podido detectar la presencia de anguila en el embalse de Bachimaña Alto.

Los resultados obtenidos mediante el análisis de ADN ambiental se encuentran en concordancia con los resultados obtenidos en los muestreos directos, ya que en éstos no se capturó ningún ejemplar de esta especie. Esto implica que, con alta probabilidad, la anguila no está presente en esta masa de agua.

## 5. VALORACIÓN SEGÚN EL ÍNDICE QFBI

Aunque este método de muestreo se ha aplicado en una reducida población de embalses de la Península Ibérica, los resultados permiten una comparación objetiva y normalizada según el índice biótico sintético QFBI.

Este ejercicio es posible gracias al carácter sistemático de los muestreos, que proporciona información estandarizada sobre la densidad y biomasa de cada una de las especies. El mencionado índice permite a su vez comparar mediante una sola variable, la relación de la ictiocenosis con las características ambientales de cada masa de agua, tanto naturales como derivadas de presiones concretas, y también con la influencia del manejo hidráulico y su interacción con otros factores de presión.

Solamente utilizando indicadores que explícitamente se vinculen a la disponibilidad de hábitats (aguas litorales y abiertas, estratos de profundidad, sustratos y vegetación acuática, gradientes tróficos longitudinales...) será posible dar una salida práctica a la información relativa a los peces en los embalses, puesto que se podrá evaluar separadamente la incidencia que una determinada estrategia de explotación hidráulica pueda tener sobre la ictiofauna, descontando así este efecto de otras presiones, lo cual resulta fundamental en el proceso de planificación hidrológica.

Según esta metodología, la calidad del embalse según los peces sería "Óptima". En la Tabla 14 se presentan los resultados de las diferentes métricas, así como del QFBI, obtenidos para el embalse de Bachimaña Alto:

**Tabla 14.** Resultados del QFBI obtenidos para el Ibón de Bachimaña Alto

Métrica	Embalse
	BCA22
LOG_BIO	3,79
LOG_BIO_native	3,79
LOG_%_BIO_PISC_Exotic	0,00
LOG_BIO_PISC_Exotic	0,00
LOG_BIO_ciprin_native	3,79
<b>QFBI</b>	-1,41
<b>Calidad</b>	<b>Óptimo</b>



Este resultado se explica por la combinación de valores bajos de biomasa y la dominancia de especies consideradas como autóctonas en la DHE. No obstante, en este caso se deberían tomar todas las especies como introducidas, y entonces el índice adoptaría un valor “Malo” pero estaría reflejando únicamente el aspecto de biodiversidad en su resultado.

## 6. CONCLUSIONES

La posibilidad de censar cuantitativamente las asociaciones de peces de los embalses ofrece evidentes ventajas sobre las técnicas más cualitativas, puesto que permiten responder a los requisitos de la DMA en este indicador, pero también completar el conocimiento limnológico, la incidencia potencial de los peces en el estado del ecosistema y orientar medidas de gestión de la pesca y de manejo de poblaciones.

Las especies detectadas en los muestreos realizados en el embalse de Bachimaña Alto mediante las diferentes técnicas aplicadas son autóctonas en la Demarcación Hidrográfica del Ebro: piscardo (*Phoxinus phoxinus*) y trucha común (*Salmo trutta fario*). El piscardo es una especie que ha encontrado un hábitat propicio para su reproducción en la pequeña cuenca de drenaje al embalse y completa por lo tanto su ciclo vital.

No obstante, ninguna especie de pez debe tener la consideración de autóctona en este tipo de masas de agua de montaña que están geográficamente aisladas de las poblaciones de peces más cercanas. Su introducción con fines de pesca recreativa supone un nuevo factor de presión para el ecosistema lacustre, en el que la fauna acuática de vertebrados se restringe originalmente a anfibios y mamíferos. Tanto desde el punto de vista de la biodiversidad como de la calidad del agua, la presencia de peces constituye un factor negativo en este tipo de ecosistemas (Miró & Ventura 2013; 2015), a través de un efecto cascada en la red trófica, que lleva a la pérdida de presión sobre el fitoplancton y a eutrofizar la masa de agua.

En relación con los valores de densidad y biomasa por especies, se obtienen las siguientes conclusiones:

- La biomasa de peces es propia de sistemas oligotróficos, con valores muy bajos en relación a una escala compuesta por más de 50 casos estudiados en la DHE. La densidad sin embargo alcanza en esa escala el percentil 89, debido a la contribución de una nutrida población de piscardos, estimada a partir de la relación entre las capturas con red y las estimas cuantitativas mediante hidroacústica en otros casos similares, pues en este caso no se ha podido sondear el grueso de los efectivos, refugiados en zonas muy someras y pedregosas.
- Biocenosis compuesta por especies que, si bien son autóctonas en la DHE, en esta masa de agua han sido artificialmente introducidas. En términos de densidad, la asociación está claramente dominada por el piscardo que representa más del 99,9% del total en términos de densidad y el 98,4% en biomasa.

La prospección mediante la técnica de mayor sensibilidad conocida (eDNA) ha permitido detectar la presencia de trucha común (*Salmo trutta fario*) en el embalse, que ha sido esquiva al resto de artes de muestreo aplicadas. Con la anguila (*Anguilla anguilla*) los resultados son negativos. Se concluye en consecuencia que en este embalse se presentan dos (2) especies de peces, ambas introducidas artificialmente en la masa de agua.

La densidad media de peces, a partir de la interpolación de celdas de análisis de 50 m de longitud y de la inferencia estadística de la población de piscardos en zonas someras, es de 13,01 ind/dam<sup>3</sup>, que es un valor alto para un embalse de montaña. La biomasa de peces obtenida en el embalse es de 0,62 g/m<sup>2</sup>, o lo que es lo mismo 6,2 kg/ha, que representa un valor bajo en los 54 embalses estudiados hasta el momento en la DHE.

El índice de calidad QFBI adquiere en el embalse de Bachimaña Alto un valor “Óptimo”, pero si se consideraran trucha común y piscardo como especies introducidas (traslocadas o alóctonas a escala local), el resultado sería “Malo”.

La escasa población de trucha, solamente detectada mediante el eDNA y estimada mediante hidroacústica, ejerce una insuficiente presión depredadora sobre el piscardo, que ha proliferado en el embalse, ejerciendo una incidencia negativa desde el punto de vista de la biodiversidad y de la calidad del agua. El piscardo supone una presión añadida sobre el zooplancton y el perifiton, favoreciendo indirectamente el desarrollo de las comunidades de fitoplancton y por tanto la eutrofización.

El objetivo a medio plazo para esta masa de agua sería la retirada completa de peces, lo que redundaría en beneficio de la biodiversidad y contribuiría a mejorar el estado ecológico de sus aguas. Debido a la ubicación remota y poco accesible de esta masa de agua, y también a la baja conductividad eléctrica, la electropesca no es una opción práctica para estas tareas, que se deberían realizar mediante artes de pesca con red (de cerco y agalleras) y nasas, recurriendo al cebado de las mismas. Aunque se han intentado otros métodos para erradicar piscardos de lagos alpinos, incluyendo el vaciado, la conclusión parece ser que las redes de cerco son las más efectivas (Schabetsberger *et al.*, 2023).

Se debe tener en cuenta que la población de piscardos se ha cuantificado según un método de cálculo tentativo realizado a partir de la relación entre la CPUE y a BPUE con las densidades y biomásas estimadas en otros casos similares. En este caso, los lances de pesca consecutivos durante el desarrollo de la campaña de control de esta especie servirían para estimar la población remanente, si se cuantifican y controlan los esfuerzos.

## 7. GLOSARIO Y ACRÓNIMOS

**% BPUE:** Biomasa por unidad de esfuerzo expresada en porcentaje.

**% CPUE:** Capturas por unidad de esfuerzo expresado como porcentaje.

**ADN ambiental (eDNA):** es el material genético presente en el medio, en este caso, en el agua, procedente de los organismos que transmiten este material genético meramente por su interacción con el medio. Por ejemplo, procedente de excreciones, gametos, mucus, escamas, etc.

**Amplicón:** fragmento del genoma amplificado mediante reacción en cadena de la polimerasa (PCR). Este fragmento puede variar en tamaño, dependiendo del marcador genético utilizado. Su composición en número de pares de bases y secuencia son conocidas.

**BPUE:** Biomasa por unidad de esfuerzo. El peso de las capturas obtenidas durante las pescas científicas, expresado en gramos, se normaliza a un esfuerzo de referencia, que corresponde a una red bentónica (45 m<sup>2</sup>) expuesta durante 12 horas.

**Capturas:** Número de individuos pescados.

**CPUE:** Capturas por unidad de esfuerzo. El número de capturas obtenidas durante las pescas científicas se normaliza a un esfuerzo de referencia, que corresponde a una red bentónica (45 m<sup>2</sup>) expuesta durante 12 horas.

**Ecograma:** Es una forma de representación del sonido que retorna a la ecosonda, en la que cada ping se dispone en el eje horizontal y la distancia en el vertical.

**Índice de cobertura:** Medida del esfuerzo de muestreo acústico que relaciona la longitud navegada con la raíz cuadrada de la superficie del embalse según la fórmula:

$$D_a = \frac{\text{Long de muestreo acústico}}{\sqrt{\text{Superficie embalse}}}$$

**L. furcal:** Longitud furcal media en milímetros.

**MBPUE12:** Promedio de biomasa por unidad de esfuerzo (g/45m<sup>2</sup>/12h) en redes de 12 paños (luces de malla de 5 a 55 mm).

**MBPUE4:** Promedio de biomasa por unidad de esfuerzo (g/45m<sup>2</sup>/12h) en redes de 4 paños (luces de malla de 70 a 135 mm).

**MCPUE12:** Promedio de capturas por unidad de esfuerzo (ind/45m<sup>2</sup>/12h) en redes de 12 paños (luces de malla de 5 a 55 mm).

**MCPUE4:** Promedio de capturas por unidad de esfuerzo (ind/45m<sup>2</sup>/12h) en redes de 4 paños (luces de malla de 70 a 135 mm).

**Peso medio:** expresado en g.

**PF total:** Peso fresco total de los peces capturados expresado en gramos.

**Ping:** Impulso acústico generado por la ecosonda; a efectos prácticos se puede considerar como una muestra de la columna de agua.

**Plerocercarioide:** Último estadio larvario de diversos cestodos con ciclos de vida acuáticos.

**Procercarioide:** Forma embrionaria alargada con un apéndice evaginable en un extremo y una dilatación esférica con 6 ganchos en el otro.

**qPCR: (*quantitative Polymerase Chain Reaction*):** Proceso de Reacción en Cadena de la Polimerasa que permite la cuantificación de la cantidad de ADN presente en las muestras a tiempo real mediante fluorescencia.

**Talla acústica (*Target strength, TS*):** Es la intensidad del sonido procedente de un blanco (pez en este caso) y se mide en decibelios (dB). Es una medida logarítmica de la proporción de la energía incidente que es devuelta por el blanco. Se utiliza una escala logarítmica porque el tamaño de los organismos acuáticos cubre varios órdenes de magnitud, desde el plancton hasta las ballenas. Para casi todos los peces, la TS está en el rango de -70 a -20 dB. Por ejemplo, si decimos que un blanco tiene 3 dB más que otro, es lo mismo que decir que refleja dos veces más energía. Un blanco de -20 dB, un atún o un siluro de gran talla quizás, produce un eco 10 000 veces más fuerte que un blanco de -60 dB, que podría corresponder por ejemplo a un alevín de boga de unos 4 cm de talla.

**Transductor:** Elemento primordial del sistema acústico, que convierte el impulso eléctrico en mecánico (sonido) y viceversa. Son piezas que van sumergidas y de cuyo diseño depende la arquitectura del haz acústico. Mediante la actuación de numerosos elementos piezo-eléctricos se consigue generar un haz tipo pistón, con un lóbulo central prominente y lóbulos laterales pequeños, de lo que depende la ratio señal/ruido de una ecosonda. Este es uno de los aspectos en los que se diferencian las ecosondas científicas de las ecosondas estándar pesqueras, y conlleva una considerable diferencia en sofisticación, que no se percibe en su justa medida en una apreciación puramente visual de un ecograma.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

CEN EN 14.757:2006. *Water quality - Sampling of fish with multi-mesh gillnets.*

CEN EN 15910: 2014 *Water quality - Guidance on the estimation of fish abundance with mobile hydroacoustic methods.*

CHE. 1996. *Diagnóstico y gestión ambiental de embalses en el ámbito de la Cuenca Hidrográfica del Ebro.*

CHE. 2009. *Guía de campo de Peces de la Cuenca del Ebro.*

CHE. 2015. Red de Seguimiento de Lagos 2015.

CHE. 2016. *Control del Estado de las Masas de Agua CEMAS. Informe de situación año 2016.*

Directiva 2006/44/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 6 de septiembre de 2006, relativa a la calidad de las aguas continentales que requieren protección o mejora para ser aptas para la vida de los peces.

Doadrio, I. 2001. *Atlas y libro rojo de los peces continentales de España.* Madrid, MMA. Dirección General de Conservación de la Naturaleza.

Doadrio, I., S. Perea, P. Garzón-Heydt y J. L. González. 2011. *Ictiofauna continental española. Bases para su seguimiento.* DG Medio Natural y Política Forestal. MARM. 616 pp. Madrid.

Fernandez, S., Sandin, M. M., Beaulieu, P. G., Clusa, L., Martinez, J. L., Ardura, A., & García-Vázquez, E. (2018). Environmental DNA for freshwater fish monitoring: insights for conservation within a protected area. *PeerJ*, 6, e4486.

Fishbase. 2009. <http://www.fishbase.org/search.php>. Marzo, 2013.

Gustavson MS, Collins PC, Finarelli JA, Egan D, Conchúir R, Wightman GD, King JJ, Gauthier DT, Whelan K, Carlsson JEL, Carlsson J. 2015. An eDNA assay for Irish *Petromyzon marinus* and *Salmo trutta* and field validation in running water. *Journal of Fish Biology* 87:1254-1262

Jenks, George F. 1967: "The Data Model Concept in Statistical Mapping", an International Yearbook of Cartography nº 7: pp. 186-190.

Kubečka, J., Frouzová, J., Balk, H., Čech, M., Draštík, V., & Prchalová, M. (2009). Regressions for conversion between target strength and fish length in horizontal acoustic surveys. Underwater acoustic measurements, Technologies & Results (JS Papadakis, L. Bjorno, Eds.), 1039-1044.

Love, R. H. 1977. Target strength of an individual fish at any aspect. *The Journal of the Acoustical Society of America* 62, 1397-1403.

Poikane, S., Birk, S., Böhmer, J., Carvalho, L., de Hoyos, C., Gassner, H., Van de Bund, W. (2015). A hitchhiker's guide to European lake ecological assessment and intercalibration. *Ecological Indicators*, 52, 533-544.



Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental. BOE, 219, 12 de septiembre de 2015.

SAIH Ebro. <http://195.55.247.237/saihebro/index.php?url=/historicos/peticion>. Noviembre 2020.



MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y RETO DEMOGRÁFICO



## ANEXOS

---



## ANEXO 1. ESPECIES PRESENTES

---

## Embalse de Brachimeña alto

Piscardo

*Phoxinus phoxinus*



El piscardo es un pez de pequeño tamaño que raramente alcanza los 140 mm de longitud total. La coloración es variable y suele presentar manchas oscuras que se disponen transversalmente. Durante la época de reproducción los machos, presentan tubérculos nupciales, y la base de las aletas, excepto la dorsal, se tiñen de rojo. Suelen vivir en los tramos altos de los ríos en aguas oxigenadas, con fondos pedregosos. Llega a formar grandes cardúmenes, que en la época de reproducción pueden estar compuestos sólo por ejemplares machos, desencadenándose la reproducción cuando en este cardumen se introducen las hembras. Son omnívoros aunque su dieta principal consiste en macroinvertebrados acuáticos. El piscardo posee dos poblaciones bien definidas una en la vertiente atlántica y otra en la mediterránea. En la vertiente atlántica no se sabe para la mayoría de los ríos, con certeza, si es una especie autóctona ya que ha sido ampliamente introducida para favorecer el número de presas disponibles para la trucha (*S. trutta*) y existen pocos registros antiguos sobre su presencia. En esta vertiente sus poblaciones son abundantes. En la vertiente mediterránea, sin embargo, las poblaciones son autóctonas ya que existen registros antiguos sobre su presencia, antes de que se favoreciera a la especie como alimento para las truchas, y en esta vertiente sus poblaciones se encuentran amenazadas.





## ANEXO 2. RESULTADOS DE LAS PESCAS

---







































FICHA DE PESCA						
DATOS DE LA RED						
SISTEMA	Bachimaña Alto	CÓDIGO DE RED		BCA22_S1EPL1		
UTM-X	727373	UTM-Y		4740503		
TIPO DE RED	Epipelágica (16x6) 40	SISTEMA DE REFERENCIA		UTM ETRS89 H30		
INICIO	28-6-22 17:20	FIN		29-6-22 10:30		
PROFUNDIDAD	30	PROFUNDIDAD DE LA RED		0		
RIQUEZA ESPECIES	1	ESFUERZO APLICADO		7,6		
RESUMEN DE LAS PESCAS						
ESPECIE	CAPTURAS	CPUE	% CPUE	BIOMASA (g)	BPUE	% BPUE
Piscardo	15	1,97	100%	71	9,33	100%
<b>Total</b>	<b>15</b>	<b>1,97</b>	<b>100%</b>	<b>71</b>	<b>9,33</b>	<b>100%</b>

CPUE		BPUE	
<p>■ Piscardo</p>			

RESULTADOS DETALLADOS DE LA PESCA				
NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	L. furcal (mm)	Peso (g)	Numero Ind
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	81	8,4	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	71	6,8	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	68	4,0	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	76	6,2	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	70	5,4	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	59	2,8	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	73	4,8	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	70	4,6	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	75	6,0	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	63	2,8	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	65	3,0	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	63	3,0	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	75	5,6	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	62	3,8	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	63	4,0	1



### ANEXO 3. CELDAS DEL MUESTREO HIDROACÚSTICO

---



ESTRATO	SEGMENTO	UTM X (H30)	UTM Y (30)	DENSIDAD ( ind/dam3)	BIOMASA (g/m2)
1	1	727200,5657	4740477,806	0,05	0
1	2	727184,6626	4740432,323	0,03	0
1	3	727159,5718	4740395,02	0,16	0
1	4	727197,7345	4740393,743	0	0
1	5	727245,0193	4740381,304	0	0
1	6	727293,5981	4740367,63	0,02	0
1	7	727340,7365	4740350,951	0,21	0,01
1	8	727369,4149	4740326,871	0	0
1	9	727319,5012	4740331,596	6,45	0,19
1	10	727271,075	4740341,873	0,09	0
1	11	727221,4648	4740339,382	0,02	0
1	12	727171,4674	4740343,671	0	0
1	13	727145,4838	4740378,447	0,05	0
1	14	727194,6159	4740378,787	0	0
1	15	727242,9674	4740390,142	0	0
1	16	727292,1527	4740395,576	0,01	0
1	17	727360,552	4740427,515	0,04	0
1	18	727362,6887	4740469,999	0,01	0
1	19	727313,8078	4740473,479	0,12	0
1	20	727264,7875	4740463,803	0,07	0
1	21	727246,8162	4740500,954	1,12	0,03
1	22	727288,8476	4740514,213	0,01	0
1	23	727338,6218	4740511,196	0,04	0
1	24	727374,6753	4740528,917	0,19	0,01
1	25	727379,3402	4740577,421	0,12	0
1	26	727338,4798	4740580,32	0	0
1	27	727289,2366	4740584,633	0	0
1	28	727244,8759	4740565,783	0,04	0
1	29	727257,9827	4740615,833	0,01	0
1	30	727234,2132	4740626,923	0,11	0
1	31	727186,5906	4740612,635	0	0
1	32	727180,6899	4740637,877	0,06	0
1	33	727214,7702	4740674,209	0,09	0
1	34	727249,9421	4740709,711	0,03	0
1	35	727289,7406	4740737,749	0,16	0
1	36	727327,302	4740770,795	0,01	0
1	37	727363,7084	4740802,102	0,25	0,01
1	38	727326,8944	4740800,043	0,14	0
1	39	727280,8927	4740782,828	0,01	0
1	40	727195,6571	4740729,134	0	0
1	41	727159,5627	4740695,281	0,01	0
1	42	727121,4804	4740664,342	0	0
1	43	727105,1514	4740690,953	0	0
1	44	727116,6019	4740740,092	0,05	0
1	45	727117,4272	4740773,205	0	0
1	46	727069,2125	4740761,01	0,01	0
1	47	727048,3659	4740805,705	0,08	0
1	48	727041,8107	4740835,173	0	0
1	49	726992,453	4740827,611	0	0
1	50	726984,6217	4740857,048	0,1	0
1	51	727019,4873	4740893,394	0,31	0,01



ESTRATO	SEGMENTO	UTM X (H30)	UTM Y (30)	DENSIDAD ( ind/dam3)	BIOMASA (g/m2)
1	52	727032,7031	4740926,481	0,39	0,01
1	53	726994,8358	4740904,456	0,02	0
1	54	726956,1311	4740871,797	0	0
1	55	726918,1696	4740892,171	0	0
1	56	726930,9906	4740939,253	0,03	0
1	57	726973,2689	4740966,081	0,01	0
1	58	727017,72	4740988,335	0	0
1	59	727056,2941	4741019,711	0	0
1	60	727102,2716	4741038,614	0,02	0
1	61	727123,485	4741073,243	0,23	0,01
1	62	727095,7966	4741112,621	0,25	0,01
1	63	727055,3867	4741104,93	0,07	0
1	64	727013,877	4741080,661	0	0
1	65	726979,2602	4741044,746	0,06	0
1	66	726942,7854	4741010,037	0	0
1	67	726901,1351	4740982,795	0,08	0
1	68	726861,5975	4740951,81	0,01	0
1	69	726861,7012	4741000,164	0	0
1	70	726871,1542	4741060,265	0	0
1	71	726912,7411	4741087,926	0,01	0
1	72	726961,3758	4741100,978	0,01	0
1	73	726997,2674	4741130,999	0,05	0
1	74	726978,193	4741152,005	0	0
1	75	726944,3371	4741116,115	0,17	0,01
1	76	726899,4424	4741093,425	0,06	0
1	77	726852,7671	4741074,079	0	0
1	78	726804,0898	4741085,206	0,01	0
1	79	726755,9461	4741098,042	0,08	0
1	80	726718,985	4741121,418	0,34	0,01
1	81	726760,9932	4741128,314	0,16	0
1	82	726806,9321	4741117,53	0	0
1	83	726851,527	4741140,62	0	0
1	84	726901,556	4741144,391	0	0
1	85	726946,1061	4741161,121	0,05	0
1	86	726984,6946	4741193,777	0,16	0
1	87	727030,4579	4741180,864	0,11	0
1	88	727063,3103	4741148,016	0,05	0
1	89	727015,6478	4741118,886	0,05	0
1	90	726976,3333	4741093,844	0,03	0
1	91	726935,735	4741064,514	0,15	0
1	92	726901,4466	4741037,515	0	0
1	93	726917,3961	4740990,546	0,12	0
1	94	726938,1589	4740968,75	0,05	0
1	95	726980,7567	4740994,322	0,19	0,01
1	96	727023,9955	4741019,07	0,01	0
1	97	727067,4221	4741043,825	5,09	0,15
1	98	727099,345	4741079,23	0,03	0
1	99	727129,6906	4741119,252	0	0
1	100	727171,6507	4741124,87	0,09	0
1	101	727171,4818	4741079,061	0,07	0
1	102	727137,7933	4741042,33	0,02	0



ESTRATO	SEGMENTO	UTM X (H30)	UTM Y (30)	DENSIDAD ( ind/dam3)	BIOMASA (g/m2)
1	103	727111,0774	4741000,737	0,53	0,02
1	104	727088,5352	4740959,705	0,1	0
1	105	727078,463	4740916,96	0,05	0
1	106	727113,0166	4740950,328	0,29	0,01
1	107	727153,2608	4740979,225	0,03	0
1	108	727188,7965	4741014,327	82,42	2,42
1	109	727220,8012	4741052,703	0	0
1	110	727214,5498	4741010,084	0,03	0
1	111	727196,9054	4740968,79	0,05	0
1	112	727235,8285	4740995,521	2,36	0,07
1	113	727265,8282	4741035,099	0,33	0,01
1	114	727310,8683	4741045,912	0,01	0
1	115	727356,5076	4741026,638	0,02	0
1	116	727339,2867	4741002,323	0,85	0,02
1	117	727299,9529	4740978,124	0,04	0
1	118	727259,8001	4740947,961	0,06	0
1	119	727245,6232	4740925,437	0	0
1	120	727294,0015	4740911,767	0,02	0
1	121	727297,4049	4740869,889	0,21	0,01
1	122	727268,8839	4740828,659	0,09	0
1	123	727241,358	4740787,039	0,11	0
1	124	727203,6317	4740730,664	0,09	0
1	125	727173,0657	4740691,068	0,04	0
1	126	727141,5824	4740652,709	0,09	0
1	127	727163,7024	4740655,139	0,13	0
1	128	727204,8214	4740683,631	0,08	0
1	129	727250,8247	4740703,803	0	0
1	130	727295,7758	4740726,074	0	0
1	131	727342,8882	4740742,892	0,09	0
1	132	727382,8878	4740771,772	0	0
1	133	727385,127	4740746,831	0	0
1	134	727355,6586	4740707,259	0	0
1	135	727388,8179	4740690,543	0	0
1	136	727410,24	4740651,815	0,01	0
1	137	727368,2863	4740624,561	0,5	0,01
1	138	727327,5311	4740595,223	0,25	0,01
1	139	727288,6276	4740565,102	0,08	0
1	140	727301,5014	4740543,469	0,03	0
1	141	727351,111	4740551,898	0,03	0
1	142	727401,2502	4740549,727	0	0
1	143	727411,2451	4740500,439	0,13	0
1	144	727362,6983	4740492,056	0,1	0
1	145	727313,2053	4740494,238	0,14	0
1	146	727281,1512	4740463,497	0,29	0,01
1	147	727252,2159	4740423,098	0,28	0,01
1	148	727220,3995	4740422,895	1,25	0,04
1	149	727261,3989	4740399,654	0	0
1	150	727306,5921	4740415,141	0,1	0
1	151	727354,1542	4740431,551	0,03	0
1	152	727404,9311	4740430,68	0	0
1	153	727397,3568	4740385,471	0	0



ESTRATO	SEGMENTO	UTM X (H30)	UTM Y (30)	DENSIDAD ( ind/dam3)	BIOMASA (g/m2)
1	154	727354,4842	4740379,821	0	0
1	155	727305,3536	4740388,374	0	0
1	156	727263,5434	4740415,834	0,15	0
1	157	727225,9751	4740448,526	0,33	0,01
1	158	727199,5031	4740451,901	0,15	0
1	159	727198,4445	4740474,335	0,24	0,01
1	160	727180,8723	4740428,807	0	0
1	161	727164,5174	4740381,62	0,01	0
1	162	727152,0188	4740333,703	0	0
1	163	727183,5129	4740341,956	0,33	0,01
1	164	727225,4094	4740368,784	0	0
1	165	727267,2752	4740396,035	0	0
1	166	727313,7556	4740414,955	0,43	0,01
1	167	727357,5301	4740438,444	0	0
1	168	727405,4854	4740453,6	0,04	0
1	169	727429,1463	4740476,86	0,19	0,01
1	170	727387,3254	4740503,897	0,02	0
1	171	727348,28	4740535,684	0	0
1	172	727305,7141	4740560,996	0,02	0
1	173	727260,2951	4740580,711	0,06	0
1	174	727215,1069	4740602,123	0,5	0,01
1	175	727178,087	4740636,101	0,03	0
1	176	727145,0516	4740673,179	0,01	0
1	177	727107,7411	4740706,303	0	0
1	178	727077,7719	4740746,028	0	0
1	179	727040,948	4740778,323	0	0
1	180	727022,376	4740823,082	0	0
1	181	727028,1358	4740872,467	0,05	0
1	182	727019,3025	4740918,402	0	0
1	183	726996,924	4740959,656	0	0
1	184	727013,9277	4741006,02	0	0
1	185	726992,9344	4741047,742	0,03	0
1	186	726955,824	4741079,595	0,01	0
2	1	727195,7025	4740455,656	0	0
2	2	727175,6443	4740415,239	0	0
2	3	727174,4369	4740403,915	0	0
2	4	727220,2494	4740382,722	0	0
2	5	727269,8278	4740374,495	0	0
2	6	727317,086	4740358,899	0	0
2	7	727363,271	4740344,068	0	0
2	8	727344,5337	4740330,665	0	0
2	9	727295,0504	4740340,962	0	0
2	10	727246,0533	4740343,472	0	0
2	11	727196,9503	4740340,253	0	0
2	12	727148,6901	4740353,705	0	0
2	13	727167,5666	4740375,817	0	0
2	14	727219,3079	4740384,704	0	0
2	15	727266,9703	4740394,601	0	0
2	16	727317,7154	4740388,492	0	0
2	17	727370,0454	4740450,541	0	0
2	18	727338,7424	4740474,757	0	0



ESTRATO	SEGMENTO	UTM X (H30)	UTM Y (30)	DENSIDAD ( ind/dam3)	BIOMASA (g/m2)
2	19	727288,5023	4740471,033	0	0
2	20	727245,9912	4740473,811	0	0
2	21	727263,2139	4740512,534	0	0
2	22	727314,0292	4740509,485	0	0
2	23	727364,173	4740511,405	0	0
2	24	727380,0696	4740553,32	0	0
2	25	727362,1118	4740587,814	0	0
2	26	727313,2273	4740584,724	0	0
2	27	727264,9898	4740581,132	0	0
2	28	727223,4751	4740573,082	0	0
2	29	727257,1617	4740631,548	0,68	0,43
2	30	727209,7135	4740622,157	0	0
2	31	727166,5209	4740616,821	0	0
2	32	727199,7634	4740654,726	0	0
2	33	727230,6721	4740692,121	0	0
2	34	727271,3468	4740722,156	0	0
2	35	727308,3448	4740756,15	0	0
2	36	727347,371	4740782,018	0	0
2	37	727347,8595	4740810,162	0	0
2	38	727305,3373	4740795,952	0	0
2	39	727258,9769	4740770,988	0	0
2	40	727176,6427	4740713,976	0	0
2	41	727138,1562	4740684,125	0	0
2	42	727103,8077	4740664,627	0	0
2	43	727113,7068	4740713,882	0	0
2	44	727126,9866	4740762,669	0	0
2	45	727094,4776	4740767,635	0	0
2	46	727045,9675	4740751,229	0	0
2	47	727058,3602	4740829,448	0	0
2	48	727016,7289	4740834,18	0	0
2	49	726972,0322	4740835,021	0	0
2	50	727001,6624	4740875,442	0	0
2	51	727039,293	4740911,123	0	0
2	52	727010,1125	4740924,692	0	0
2	53	726976,777	4740887,885	0	0
2	54	726932,456	4740871,106	0	0
2	55	726919,6541	4740919,713	0	0
2	56	726951,0188	4740953,208	0	0
2	57	726996,4498	4740974,805	0	0
2	58	727039,2255	4741001,928	0	0
2	59	727080,5496	4741025,135	0	0
2	60	727123,5455	4741052,022	0	0
2	61	727112,5163	4741095,995	0	0
2	62	727073,5648	4741120,838	0	0
2	63	727030,6745	4741098,713	0	0
2	64	726994,7646	4741064,523	0	0
2	65	726961,1945	4741027,897	0	0
2	66	726922,1428	4740996,594	0	0
2	67	726880,8093	4740968,43	0	0
2	68	726856,2406	4740974,503	0	0
2	69	726870,3678	4741024,696	0	0



ESTRATO	SEGMENTO	UTM X (H30)	UTM Y (30)	DENSIDAD ( ind/dam3)	BIOMASA (g/m2)
2	70	726892,0377	4741073,103	0	0
2	71	726937,4068	4741092,329	0	0
2	72	726983,2613	4741110,237	0	0
2	73	727000,284	4741152,033	0	0
2	74	726962,9403	4741135,283	0	0
2	75	726920,5178	4741105,903	0	0
2	76	726875,1762	4741085,345	0	0
2	77	726827,6095	4741077,653	0	0
2	78	726779,0418	4741092,921	0	0
2	79	726729,8593	4741104,232	0	0
2	80	726733,7545	4741134,678	0	0
2	81	726782,3155	4741115,619	0	0
2	82	726829,0961	4741129,276	0	0
2	83	726876,7684	4741140,962	0	0
2	84	726926,2723	4741146,005	0	0
2	85	726965,4106	4741176,888	0,66	0,13
2	86	727010,0088	4741193,888	0	0
2	87	727052,499	4741166,248	0	0
2	88	727042,4638	4741137,301	0	0
2	89	727188,8016	4740710,541	0	0
2	90	727155,588	4740674,004	0	0
2	91	727143,5562	4740639,033	0	0
2	92	727185,4537	4740666,517	0	0
2	93	727228,4406	4740691,503	0	0
2	94	727274,0718	4740714,264	0	0
2	95	727319,5337	4740733,706	0	0
2	96	727364,3962	4740754,185	0	0
2	97	727401,6811	4740765,81	0	0
2	98	727370,5564	4740726,806	0	0
2	99	727362,8489	4740693,588	0,65	0,43
2	100	727408,2641	4740676,465	0	0
2	101	727388,7859	4740638,134	0	0
2	102	727347,1182	4740610,4	0	0
2	103	727305,2954	4740582,639	0	0
2	104	727276,9039	4740547,872	0	0
2	105	727326,3262	4740547,823	0	0
2	106	727375,7862	4740547,375	0	0
2	107	727412,1384	4740526,239	0	0
2	108	727387,7181	4740492,737	0	0
2	109	727337,1414	4740497,484	0	0
2	110	727293,0579	4740485,613	0	0
2	111	727263,6704	4740445,522	0	0
2	112	727233,369	4740416,996	0	0
2	113	727237,3003	4740405,553	0	0
2	114	727285,4283	4740400,824	0	0
2	115	727330,8054	4740423,399	0	0
2	116	727379,8134	4740429,484	0	0
2	117	727408,7485	4740408,793	0	0
2	118	727378,8521	4740373,709	0	0
2	119	727329,3439	4740384,273	0	0
2	120	727284,4579	4740401,693	0	0



ESTRATO	SEGMENTO	UTM X (H30)	UTM Y (30)	DENSIDAD ( ind/dam3)	BIOMASA (g/m2)
2	121	727245,1815	4740434,773	0	0
2	122	727201,3399	4740465,247	0	0
2	123	727206,1005	4740450,006	0	0
2	124	726927,6834	4741148,908	0	0
2	125	726973,9897	4741131,2	0	0
2	126	727022,6343	4741123,552	0,45	0,56
2	127	727070,0228	4741133,907	0	0
2	128	727114,5881	4741158,866	0	0
2	129	727151,0004	4741130,816	0	0
2	130	727164,5484	4741082,723	0,67	0
2	131	727187,5451	4741039,378	0	0
2	132	727228,6018	4741010,314	0	0
2	133	727264,4755	4740975,042	0	0
2	134	727287,0687	4740931,05	0	0
2	135	727296,4968	4740882,777	0	0
2	136	727312,3846	4740836,53	0	0
2	137	727335,9485	4740790,435	0	0
2	138	727350,3425	4740745,05	0	0
2	139	727366,1116	4740700,433	0	0
2	140	727377,0229	4740649,419	0	0
2	141	727388,9031	4740603,796	0	0
2	142	727411,1956	4740578,405	0	0
2	143	727367,9958	4740549,442	0	0
2	144	727327,0775	4740520,565	0	0
2	145	727286,4202	4740493,699	0	0
2	146	727243,107	4740473,861	0	0



## ANEXO 4. BOLETINES DE ENSAYO DE eDNA

---



<b>TIPO DE ENSAYO:</b>	eDNA	<b>CLIENTE</b>  CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO
<b>ESPECIE:</b>	<i>Salmo trutta y Anguilla anguilla</i>	
<b>Procedencia:</b>	Bachimaña Alto	
<b>Código de proyecto:</b>	EC20012	

### Recepción de muestras en el laboratorio

Fecha:	30/06/2022
Técnico:	Susana Deus Álvarez
Nº Muestras:	9
Estado de las muestras:	Frías
Almacenaje:	Congelación

Código de muestra	Chequeo
BCA_E1S	<input checked="" type="checkbox"/>
BCA_E1M	<input checked="" type="checkbox"/>
BCA_E1F	<input checked="" type="checkbox"/>
BCA_PES_1_1	<input checked="" type="checkbox"/>
BCA_PES_1_2	<input checked="" type="checkbox"/>
BCA_PES_1_3	<input checked="" type="checkbox"/>
BCA_BEN_1_1	<input checked="" type="checkbox"/>
BCA_BEN_1_2	<input checked="" type="checkbox"/>
BCA_BEN_1_3	<input checked="" type="checkbox"/>



<b>TIPO DE ENSAYO:</b>	eDNA	<b>CLIENTE</b>  CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO
<b>ESPECIE:</b>	<i>Salmo trutta y Anguilla anguilla</i>	
<b>Procedencia:</b>	Bachimaña Alto	
<b>Código de proyecto:</b>	EC20012	

### Filtración de muestras de agua

Técnico:	Susana Deus Álvarez
Almacenaje:	Congelación
Incidencias:	No

Muestras filtradas			
Código	Volumen (L)	Nº filtros	Fecha
BCA_E1_S	1	2	03/07/2022
BCA_E1_M	1	2	03/07/2022
BCA_E1_F	1	2	03/07/2022
BCA_PES_1_1	1	2	03/07/2022
BCA_PES_1_2	1	2	03/07/2022
BCA_PES_1_3	1	2	03/07/2022
BCA_BEN_1_1	1	2	03/07/2022
BCA_BEN_1_2	1	2	03/07/2022
BCA_BEN_1_3	1	2	03/07/2022

### Extracción de ADN

Fecha:	08/07/2022
Técnico:	Susana Deus Álvarez
Método de extracción:	Kit Qiagen
Número de muestras:	9
Incidencias:	No

Muestras extraídas		
Código	Volumen (mL)	Quality Check
BCA_E1_S	100	<input checked="" type="checkbox"/>
BCA_E1_M	100	<input checked="" type="checkbox"/>
BCA_E1_F	100	<input checked="" type="checkbox"/>
BCA_PES_1_1	100	<input checked="" type="checkbox"/>
BCA_PES_1_2	100	<input checked="" type="checkbox"/>
BCA_PES_1_3	100	<input checked="" type="checkbox"/>
BCA_BEN_1_1	100	<input checked="" type="checkbox"/>
BCA_BEN_1_2	100	<input checked="" type="checkbox"/>
BCA_BEN_1_3	100	<input checked="" type="checkbox"/>



<b>TIPO DE ENSAYO:</b>	eDNA	<b>CLIENTE</b>  CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO
<b>ESPECIE:</b>	<i>Salmo trutta</i> y <i>Anguilla anguilla</i>	
<b>Procedencia:</b>	Bachimaña Alto	
<b>Código de proyecto:</b>	EC20012	

### Detección por PCR

Técnico:	Susana Deus Álvarez
Incidencias:	No

### Salmo trutta

qPCR	
Máquina PCR:	Quantum studio 3
R2:	0.896
Recta - Pendiente:	-1,965
Recta - Intercepto	29,931
Conservación:	congelación



Target: Target 2 Slop: -1.965 R<sup>2</sup>: 0.896 Y-Inter: 29.931 Eff%: 222.693 Error: 0.254

Resultados		
Código	Detección	Concentración (ng/μL)
BCA_E1_S	+	1101
BCA_E1_M	+	2118
BCA_E1_F	+	5716
BCA_PES_1_1	+	3119
BCA_PES_1_2	+	3395
BCA_PES_1_3	+	2805
BCA_BEN_1_1	+	3170
BCA_BEN_1_2	+	2913
BCA_BEN_1_3	+	3298
Control negativo PCR	-	

Se ha detectado la presencia de *Salmo trutta* en todas las muestras



<b>TIPO DE ENSAYO:</b>	eDNA	<b>CLIENTE</b>  CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO
<b>ESPECIE:</b>	<i>Salmo trutta</i> y <i>Anguilla anguilla</i>	
<b>Procedencia:</b>	Bachimaña Alto	
<b>Código de proyecto:</b>	EC20012	

### **Anguilla anguilla**

	<b>qPCR</b>		
Máquina PCR:	Quantum studio 3		
Conservación:	congelación		

<b>Resultados</b>			
<b>Código</b>	<b>Detección</b>		
BCA_E1_S	-		
BCA_E1_M	-		
BCA_E1_F	-		
BCA_PES_1_1	-		
BCA_PES_1_2	-		
BCA_PES_1_3	-		
BCA_BEN_1_1	-		
BCA_BEN_1_2	-		
BCA_BEN_1_3	-		

### **Conclusión**

No se ha detectado la presencia de *Anguilla anguilla* en ninguna muestra